

**COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA  
CASO DE ESTUDIO: SIMULACIÓN TÉRMICA PARA CENTRO DE BIENESTAR  
ANIMAL**

**Presentado por:**

**Arq. Walter Steve Torres Triana**

**Director de Tesis:**

**PhD. Arq. Andrés Moreno Sierra**

**Facultad de Diseño**

**Maestría en Diseño Sostenible**

**Requisito Parcial de grado de Maestría en Diseño Sostenible**

**Universidad Católica de Colombia**

**Bogotá DC**

**2017**

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo principalmente a mis padres y hermano por su apoyo, al director de tesis por creer y confiar en mí y a las personas damnificadas por los estragos del cambio climático, espero que trabajos como este ayuden a mitigar sus efectos y puedan contribuir a un mejor futuro.



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

## **Abstract**

With the use of energy simulation in the design process, a rapid and meaningful improvement of this technology has been developed by the industry in the creation programs and methodologies oriented to energy simulation. This paper assesses two energy simulation methodologies in a case study theoretical design. The first one: Perimeter Zone Optimization Method (PZOM) which can be described as an agile and efficient method in the energy evaluation of a project in its initial stage. This one is about a representative model of a zone of the Project that serves for evaluating aspects like orientation and enclosure mainly. Time and effort savings in the creation of a complex model and the early analysis of a design in its schematic phase are some of the advantages related with this methodology. On the other hand, once the design has progressed and energy conservation measures have been defined, the creation of a more complex model of the current geometry is necessary. This last methodology is known as Whole Building Energy Modeling (WBEM). This one is useful in the total evaluation of the final stages of design as it has all of the information collected from the whole process of design.

For the comparison of both methodologies a theoretical design of a Welfare Animal Center as case study has been chosen in order to assess them. DesignBuilder V4.5 is the program used for the creation and thermal simulation of models.

**Keywords:** DesignBuilder, energy models, thermal comfort.

## Resumen

Gracias a la introducción de la simulación energética se evidencia un gran avance tecnológico por la industria en la creación de programas y metodologías aplicadas al proceso de simulación. En este documento se evalúan dos metodologías de simulación en el diseño teórico de un caso de estudio. La primera: *Perimeter Zone Optimization Method* (PZOM, por su sigla en inglés) la cual hace énfasis en un método rápido y eficiente, en la evaluación energética de un proyecto en su etapa de diseño inicial. Ésta se trata de un modelo representativo de una zona del proyecto, con el cual se evalúan la orientación y envolvente principalmente. Las ventajas son ahorro en tiempo y esfuerzo en la elaboración de modelos más complejos y el análisis temprano de un diseño en su fase inicial. Por otro lado, cuando ha progresado el diseño y se han establecido las medidas de conservación energética, se hace necesaria la elaboración de un modelo más complejo de la geometría real en cuanto a dimensiones, posición, perfiles de uso, etc. Esta metodología para un modelo energético completo se conoce como *Whole Building Energy Modeling*. Ésta última metodología es útil, sobre todo, en la evaluación de los escenarios finales del proceso de diseño. Para evaluar las metodologías, se elige como caso de estudio el diseño teórico de un Centro de Bienestar Animal junto con el programa DesignBuilder V4.5 para elaborar simulaciones de tipo térmico.

**Palabras clave:** Confort térmico, DesignBuilder, modelos energéticos,

## Tabla de contenido

Dedicatoria .....	ii
Abstract .....	iv
Resumen .....	v
Tabla de contenido .....	vi
Lista de figuras .....	xiii
Lista de tablas .....	xvi
Introducción .....	1
Problema de investigación .....	2
Objetivo general .....	2
Objetivos específicos .....	2
Justificación .....	3
Hipótesis .....	4
Variables independientes .....	4
Variables dependientes .....	4
1. Marco teórico .....	5
1.1 Modelado energético .....	5
1.2 Clasificación de simulación energética por régimen .....	5
1.2.1 Modelos de simulación estática .....	6

1.2.2	Modelos de simulación dinámica.....	6
1.3	Clasificación de simulación energética por uso .....	7
1.3.1	Simulación para cumplimiento de normatividad .....	7
1.3.2	Simulación para evaluación y puntuación de edificios .....	8
1.3.3	Simulación para evaluación energética .....	8
1.4	Software para simulación energética.....	8
1.5	Modelos energéticos .....	9
1.6	Tipos de modelación energética .....	12
1.6.1	Modelación para simulación energética.....	12
1.6.1.1	Geometría y zonificación .....	12
1.6.1.2	Sombras solares.....	13
1.6.1.3	Iluminación natural .....	14
1.6.1.4	Ventilación e infiltración .....	14
1.6.1.5	Perfiles de ocupación, equipos e iluminación.....	14
1.6.2	Modelación para simulación térmica .....	15
1.6.2.1	Interacciones entre el ambiente térmico interior y el confort térmico .....	15
1.6.2.2	Condiciones térmicas del ambiente .....	16
1.6.2.3	Mecanismos de flujo de calor .....	17
1.6.2.4	Efectos del clima en el hombre.....	17
1.6.2.5	Zona de confort .....	17

1.6.2.6	Estándares de confort térmico.....	18
1.6.2.7	Estándar: temperatura fuera de rango .....	18
1.6.2.8	Estándar: equilibrio de calor .....	18
1.6.2.9	Estándar de confort térmico adaptativo .....	20
1.6.2.10	Inputs requeridos para la simulación térmica .....	20
1.6.3	Modelación para ventilación .....	22
1.6.3.1	Condiciones de borde .....	23
1.6.3.2	Malla de computación.....	23
1.6.3.3	Visualización de resultados.....	24
1.6.4	Modelación para iluminación.....	25
1.6.4.1	Factor luz día.....	26
1.6.4.2	<i>Climate based daylight modeling (CBDM)</i> .....	27
1.7	Limitaciones y expectativas de las simulaciones energéticas .....	29
1.8	Estado del arte .....	30
1.8.1	Metodologías de simulación .....	30
1.8.1.1	<i>Metodología perimeter zone optimization method (PZOM)</i> .....	30
1.8.1.2	Aspectos fundamentales para ser abordadas con metodología PZOM .....	32
1.8.1.3	Alcances .....	32
1.8.1.4	Desventajas .....	32
1.8.2.1	Metodología <i>whole building energy modeling</i> (WBEM) .....	33



1.8.2.2	Establecer áreas de piso .....	34
1.8.2.3	Estimación de horas de operación y factores de ocupación.....	34
1.8.2.4	Evaluación de iluminación.....	34
1.8.2.5	Evaluación de uso de energía para ascensores y escaleras .....	35
1.8.2.6	Evaluación de uso de energía para equipo menor y catering .....	35
1.8.2.7	Evaluación de uso de energía para cuartos de servicio y otros equipos .....	35
1.8.2.8	Estimación de consumo de agua caliente.....	36
1.8.2.9	Evaluación de ganancias internas de calor.....	36
1.8.2.10	Evaluación del uso de energía para equipos hvac, ventiladores y bombas, equipos de humidificación y estimación de factores de manejo .....	36
1.8.3	Evaluación post ocupación.....	36
2	Marco metodológico .....	38
2.1	Metodología.....	38
2.1.1	Alcance y limitaciones .....	39
2.1.2	Configuración del computador.....	39
2.2	Caso de estudio .....	40
2.3	Descripción del caso de estudio.....	40
2.4	Requerimientos de confort de un CAB.....	41
2.5	Datos climáticos del lugar de emplazamiento .....	42
2.5.1	Temperatura de bulbo seco .....	43

2.6	Análisis del terreno .....	43
2.6.1	Componente entorno-ambiental .....	44
2.6.1.1	Geometría solar .....	44
2.6.1.2	Estudio de sombras .....	45
2.6.1.3	Radiación Solar .....	46
2.6.1.4	Patrón de vientos .....	46
2.6.2	Componente estratégico .....	48
3	Desarrollo del tema .....	49
3.1	Simulaciones energéticas.....	49
3.2	Procedimiento .....	49
3.3	Simulación general PZOM serie 1.....	50
3.3.1	Metodología .....	50
3.3.2	Ficha técnica.....	50
3.3.2.1	Memoria de simulación.....	50
3.3.3	Resultados .....	52
3.3.3.1	Cálculo de resultados .....	55
3.3.3.2	Visualización de resultados.....	56
3.4	Simulación PZOM serie 2 y WBEM.....	60
3.4.1	Ficha técnica.....	60
3.4.1.1	Memoria de simulación.....	60

3.4.2	Comparación de resultados PZOM vs WBEM .....	61
3.5	Análisis de resultados de la investigación .....	66
3.5.1	Rol de las metodologías de simulación .....	69
3.6	Conclusiones.....	72
	Bibliografía.....	76
	Anexo A – Datos climáticos del lugar de emplazamiento .....	77
	Generalidades .....	77
	Clasificación climática .....	77
	Temperatura .....	79
	Temperatura de confort .....	79
	Humedad .....	81
	Radiación solar .....	83
	Rango de iluminación.....	84
	Régimen de vientos .....	84
	Precipitación.....	86
	Diagrama psicrométrico .....	87
	Anexo B – Planimetría CBA.....	88
	Anexo C – Listado de programas más reconocidos .....	91
	EnergyPlus .....	91
	Radiance .....	91

Autodesk green building studio (GBS) .....	91
eQuest.....	91
DesignBuilder.....	91
OpenStudio.....	92
Ladybug.....	92
Honeybee.....	92
Autodesk Insight 360 .....	92
Ecodesigner star – ArchiCAD – Graphisoft.....	92
IES-VE .....	92
Anexo D – Matriz de simulaciones .....	93
Matriz para PZOM .....	93
Matriz para WBEM.....	94

### Lista de figuras

Figura 1. Niveles LOD en modelos energéticos y modelos BIM.	10
Figura 2. Modelo energético con zonas definidas.	11
Figura 3. Modelo energético con análisis por zonas.	13
Figura 4. Perímetro de zonas.	21
Figura 5. Análisis de sombras solares con Autodesk Revit.	21
Figura 6. Simulación CDF.	22
Figura 7. Malla de polígonos.	24
Figura 8. Resultados para DF de una simulación.	27
Figura 9. Representación Gráfica de UDI.	28
Figura 10. Infografía de pasos para elaboración de simulación PZOM.	31
Figura 11. Infografía pasos para elaboración de simulación WBEM.	33
Figura 12. Esquema de fases de diseño y uso de modelación energética por metodologías.	37
Figura 13. Sitio de emplazamiento.	43
Figura 14. Diagrama solar para Bogotá. Fuente <a href="http://andrewmarsh.com/">http://andrewmarsh.com/</a> . (Marsh, Andrew)	44
Figura 15. Estudio de sombras para terreno.	45
Figura 16. Diagrama para energía solar acumulada.	46
Figura 17. Túnel de viento dirección del viento NE.	47
Figura 18. Túnel de viento dirección del viento W.	47
Figura 19. Modelos representativos de cada variable de diseño.	52
Figura 20. Modelos representativos para materialidad.	53
Figura 21. Materiales analizados para muros.	54
Figura 22. Material de cubierta tipo sándwich.	54
Figura 23. Especificaciones de vidrio.	55

Figura 24. Explicación de matriz de resultados.	56
Figura 25. Estereometría para modelo con orientación 36.3°.	57
Figura 26. Estereometría para modelo cubierta dos aguas.	59
Figura 27. Modelos energéticos para WBEM y PZOM serie 2. Programa DesignBuilder.	61
Figura 28. Comparación de medianas de temperatura y horas de confort.	62
Figura 29. Diferencia (°C) de valores de medianas de PZOM y WBEM.	62
Figura 30. Estudio solar del proyecto.	66
Figura 31. Ubicación y distancia de estación meteorológica.	77
Figura 32. Mapa de clasificación climática.	78
Figura 33. Climograma para temperatura de bulbo seco.	79
Figura 34. Control de rango de confort (18.74°C) ASHRAE-55.	80
Figura 35. Control de rango de confort (23.74°C) ASHRAE-55.	81
Figura 36. Envolvente geométrica arquitectónica.	81
Figura 37. Climograma de humedad relativa.	82
Figura 38. Datos de radiación global.	83
Figura 39. Rango de iluminación en lux.	84
Figura 40. Diagrama de velocidad de vientos.	84
Figura 41. Rosa de vientos.	85
Figura 42. Precipitación pluvia y número de días con lluvial.	86
Figura 43. Carta psicrométrica para Bogotá (Climate Consultant).	87
Figura 44. Perspectiva general.	88
Figura 45. Planta de accesos.	89
Figura 46. Planta de perreras y gateras.	89
Figura 47. Clínica y administración piso 1.	90

Figura 48. Clínica piso 2.

90

### Lista de tablas

Tabla 1. Escala de sensación térmica para PMV.	19
Tabla 2. Tipos de visualización de resultados para CFD.	25
Tabla 3. Rangos de temperatura.	42
Tabla 4. Promedio temperatura del aire (°C) humedad relativa (%) de Bogotá.	43
Tabla 5. Inventario de espacios principales del CAB con su respectiva descripción.	49
Tabla 6. Resultados generales para simulación anual horaria (8760 h.	53
Tabla 7. Matriz de resultados para modelo PZOM de Orientación.	57
Tabla 8. Matriz de resultados para modelo PZOM de Aberturas.	57
Tabla 9. Matriz para modelo PZOM de Material de envolvente.	58
Tabla 10. Matriz para PZOM de tipo de cubierta.	58
Tabla 11. Matriz PZOM de material de cubierta.	59
Tabla 12. Matriz PZOM de diseño de cubierta.	60
Tabla 13. Matriz PZOM de diseño de cortasoles.	60
Tabla 14. Cuadro comparativo de temperatura para PZOM-s2 y WBEM.	62
Tabla 15. Diferencia (°C) de valores de medianas de PZOM y WBEM.	63
Tabla 16. Datos arrojados en perreras para PZOM y WBEM.	63
Tabla 17. Datos arrojados en zona de clínica para PZOM y WBEM.	64
Tabla 18. Datos arrojados en zona de hospitalización y quirófano para PZOM y WBEM.	64
Tabla 19. Datos arrojados en zona de administración para PZOM y WBEM.	65
Tabla 20. Comparación de datos simulaciones PZOM s2 y WBEM.	70
Tabla 21. Rango de temperaturas promedio operativas por metodología.	71
Tabla 22. Temperaturas Humedad promedio mensual.	79
Tabla 23. Promedio mensual humedad relativa.	82



Tabla 24. Análisis de confort para humedad relativa.	82
Tabla 25. Promedio anual velocidad del viento.	85

## **Introducción**

El avance tecnológico de la industria de la construcción, aunado al creciente interés en el país por el diseño de proyectos comprometidos con el medio ambiente, debido a las consecuencias que se experimentan por el cambio climático hace necesario que los diseños implementen las simulaciones energéticas como parte de los entregables de un diseño. Con el fin de comprender cabalmente que implica la simulación energética, se presenta una investigación acerca de sus conceptos fundamentales, tales como los tipos de simulaciones que existen, su clasificación, los tipos de modelación energéticas, los programas más utilizados, entre otros. De los temas revisados, se profundizó en las metodologías de simulación Perimeter Zone Optimization Method (PZOM) y Whole Building Energy Modeling (WBEM). Ambas metodologías cumplen con el propósito de realizar evaluaciones de desempeño energético en los edificios en las etapas de diseño. La primera, PZOM, es utilizada en etapas de diseño esquemático, donde se empiezan a evaluar las variables de orientación y diseño de fachada, entre otros; la segunda, es llevada a cabo en fases posteriores de diseño. Con el objetivo de comparar ambas metodologías y de observar cómo se complementan, se elige como caso de estudio un diseño teórico de un Centro de Bienestar Animal debido a los diferentes objetivos de confort que deben tener estos equipamientos, gracias a que albergan, principalmente tres tipos de especies (humanos, caninos y felinos). Al final se elaboran modelaciones térmicas para análisis y evaluación de resultados donde se elaboran conclusiones específicamente del alcance de las metodologías de simulación y se establecen diferentes métodos para presentar y analizar los resultados.

### **Problema de investigación**

Entendiendo la importancia de la simulación energética en el diseño sostenible ¿Qué metodologías de simulación debería usar, dependiendo de la fase en la que se encuentra el diseño y qué alcances, fortalezas y debilidades presentan en la evaluación energética de la edificación?

### **Objetivo general**

Consolidar las fortalezas y debilidades que se pueden presentar entre las metodologías de simulación energética: Perimeter Zone Optimization Method (PZOM) y Whole Building Energy Modeling (WBEM).

### **Objetivos específicos**

- Identificar la manera cómo se puede integrar el software DesignBuilder a las metodologías de simulación PZOM y WBEM.
- Establecer una metodología que permita abordar la lectura de los resultados arrojados de manera comprensible y así mismo facilitar la toma de decisiones.
- Establecer como se complementan las dos metodologías en un ejercicio práctico de diseño (caso de estudio).

## **Justificación**

Existen diferentes actividades que conllevan a consolidar un proyecto con criterios sostenibles, uno de ellos son las simulaciones energéticas, las cuales, son requisitos fundamentales en los procesos de certificación en sostenibilidad. Actualmente, la tendencia de la industria está dirigida a la modelación 3D de proyectos, el ejemplo más claro es la metodología BIM. Esto quiere decir que los profesionales de este campo están cada vez más acostumbrados a interactuar con un entorno virtual, por lo tanto, la modelación energética, casi que se convierte en un procedimiento estándar a ser realizado, lo cual constituye un gran avance. No obstante, es posible que no sea claro el proceso de cómo debe ser la aproximación a este tipo de modelado y en qué fase se debería realizar. Este trabajo muestra dos metodologías de modelación energética en relación a las fases de diseño arquitectónico, los requerimientos para cada una y sus alcances. El conocimiento de lo anterior, puede colaborar notablemente en la obtención de un mejor resultado para las simulaciones y, por lo tanto, en conjunto con otras actividades inherentes del diseño, la producción de un diseño optimizado en cuanto a consumo de energía y criterios de confort. Otro punto que convierte en relevante el estudio de metodologías de modelación es el que tiene que ver con el tiempo, bien es sabido que la creación de contenido 3D es una tarea que puede llegar a consumir varias horas de trabajo, por lo tanto, es vital conocer los tiempos asociados con cada modelación para poder construir expectativas que ayuden a orientar que metodología es la indicada a utilizar.

### **Hipótesis**

Los resultados de la metodología de simulación PZOM para análisis de confort térmico son cercanos a los arrojados por la metodología WBEM, gracias a esto, PZOM puede ser utilizada como un ejercicio de aproximación tanto en al comienzo de un diseño como en la primera evaluación de un edificio existente.

### **Variables independientes**

Modelos representativos de una zona del proyecto.

Inputs requeridos para la simulación.

### **Variables dependientes**

Temperatura operativa y temperatura del aire arrojada por la simulación.

Ganancia térmica por la envolvente.

## **1. Marco teórico**

### **1.1 Modelado energético**

A continuación se hace una investigación bibliográfica sobre los temas inherentes al modelado energético, en este primer capítulo se habla acerca del concepto mismo de modelación con fines energéticos y su clasificación.

El modelado energético es una categoría de modelos en 3D cuyo objetivo principal es la estimación de la demanda energética que tendrá un proyecto en operación. Esta demanda energética o consumo, está dada como la cantidad de energía, de fuentes eléctrica, gas, entre otras, que requiere un edificio para su operación, desde su iluminación artificial, las cargas para la operación de electrodomésticos, hasta las cargas para el funcionamiento de máquinas (bombas, equipos HVAC). El objetivo principal de la simulación, es la optimización en el uso energético de las edificaciones. Gracias al avance tecnológico y la preocupación por la mitigación de los efectos del cambio climático, ha sucedido que diferentes organismos internacionales han volcado su mirada hacia el tema de la modelación energética, mediante la creación de programas, metodologías y aproximaciones. En cuanto a los modelos de este tipo, existen diferentes propósitos y usos, pero, en general, las principales aplicaciones son (CIBSE TM54 2013, p. 10):

- Diseño: arquitectura sostenible, Sistemas HVAC y su dimensionamiento.
- Estimación del uso probable de energía del edificio.
- Estimación de emisiones de dióxido de carbono.
- Estimación de costos de operación (facturas de energía).
- Análisis de la distribución del uso de energía en el edificio.

### **1.2 Clasificación de simulación energética por régimen**

Los programas de simulación energética disponibles en el mercado, tienen diferentes capacidades y características, entre las cuales, al igual que se hace mediante simulación manual, existen dos

regímenes definidos que dividen la simulación y las expectativas que surgen frente a sus resultados: simulación estática y dinámica.

### **1.2.1 Modelos de simulación estática**

El modelo de simulación estática está basado en la suposición de condiciones de temperatura estática al interior y al exterior del edificio, también de patrones estáticos de ocupación de la edificación. Los resultados que arrojan estos modelos, hacen referencia a una hora y día específicos, no integran un análisis anual, sino, que aportan información sobre un punto de referencia estático en el tiempo, por lo tanto, las estimaciones con estos modelos tienden a concentrarse en los valores máximos y mínimos de una variable. Ejemplo, el pico de temperatura más alta o más bajo, y con esta variable se construye la estimación. Este tipo de simulación es válido y se usa para cuantificar las cargas de equipos de ventilación y calefacción, especialmente de picos de demanda y también para uso estimado de energía, sin embargo, presenta limitaciones mayores frente al modelo dinámico. Puede ser útil como una primera aproximación de estimación energética (Szokolay, Steven, p. 101).

### **1.2.2 Modelos de simulación dinámica**

En la medida en que los ordenadores son capaces de generar operaciones más complejas, los organismos de regulación como el CIBSE han venido proponiendo que la simulación se haga con modelos dinámicos, ya que estos son capaces de evaluar escenarios más complejos en la variación del uso de energía a lo largo del año (CIBSE TM54 2013, p. 3). Los modelos dinámicos usan una base de datos climática por hora (8760 horas del año) para temperatura interior y exterior y son capaces de estimar la respuesta térmica del edificio en cada una de las horas o incluso cada media hora, a diferencia del régimen estático. Los resultados son más realísticos, si las entradas, de ahora en adelante nombradas como inputs, son coherentes con las condiciones

reales que tendrá el proyecto. Para poder elaborar una simulación dinámica es necesario utilizar un software capaz de hacer sus cálculos bajo régimen dinámico.

### **1.3 Clasificación de simulación energética por uso**

Una vez estudiadas las principales modalidades de simulación energética, se va a analizar la clasificación de simulación de acuerdo a sus aplicaciones.

Entre los diferentes usos que se le puede dar a las simulaciones, existen principalmente tres con enfoques específicos: simulación para cumplimiento de normatividad (*simulation for compliance*), simulación para evaluación y puntuación de edificio (*Building assesment and rating schemes*) y simulación para evaluación energética (*bespoke modeling*).

#### **1.3.1 Simulación para cumplimiento de normatividad**

Este tipo de simulación es específica para satisfacer las expectativas de desempeño energético en las edificaciones de acuerdo a códigos adoptados por los países, por lo general, dicha normatividad exige, como parte del proceso de diseño energético eficiente, la simulación como una herramienta de estimación de uso de energía. Existen unas métricas de comparación (*benchmarks*) que establecen los usos energéticos por edificación, los cuales no deben ser superados, las simulaciones deben demostrar que los umbrales establecidos no sean sobrepasados para cumplir con los requerimientos de los códigos normativos. Los modelos de esta categoría suelen ser más simplificados, toda vez que usan parámetros establecidos para demostrar que los usos de energía se encuentran entre los permitidos, sus principales limitaciones son (CIBSE AM11 2015, p. 20):

- Limitada habilidad para representar la complejidad de los sistemas de HVAC.
- Limitación en la confiabilidad de resultados cuando varios aspectos relacionados con la energía son omitidos porque no son necesarios dentro de la categoría.



- Limitada habilidad para ajustar los cálculos a los impactos de posibles cambios climáticos y patrones de ocupación.

### **1.3.2 Simulación para evaluación y puntuación de edificios**

Dentro de esta categoría se encuentran las simulaciones para evaluación del edificio, definidas por organismos que fijan estándares de desempeño, ejemplos: LEED, BREEAM, ASHRAE, etc.,. Algunas características de estas simulaciones son mayor confiabilidad frente a las de cumplimiento de normatividad, puesto que integran más variables y mayor complejidad. Cada organismo tiene su propio estándar y por lo tanto sus propios requerimientos en cuanto a los resultados que debe cumplir una simulación.

### **1.3.3 Simulación para evaluación energética**

Esta simulación tiene como objetivo la evaluación integral del desempeño energético de una edificación, se hace a la medida porque está orientada a satisfacer los requerimientos del dueño y medidas de conservación energética perseguidos por el equipo de diseño, involucra todas las variables del diseño y apunta a integrar todos los sistemas con los que contará la edificación, como ventilación y aire acondicionado, entre otros. Es más exigente en términos de resultados, puesto que se busca satisfacer los intereses privados bajo el marco de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y disminución en las tarifas de las facturas por operación. De esta categoría se desprenden diferentes tipos de modelos energéticos que serán descritos más adelante.

## **1.4 Software para simulación energética**

El objetivo de esta tesis de grado no es la comparación de algún software actualmente presente en el mercado, sin embargo es importante aclarar un poco el panorama con respecto a los programas, para ayudar a apoyar una decisión en la elección de alguno. Primero es muy importante aclarar las suposiciones de los modelos matemáticos en los procesos de cálculo de los programas para tener un enfoque principalmente cualitativo frente a un enfoque cuantitativo de los resultados

(CIBSE AM11 2015, p. 11). Entre los software del mercado hay unos que no realizan simulación dinámica. También es importante definir que algunos programas son especializados en simulación, mientras que otros, integran otros módulos energéticos para ofrecer más servicios, como es el caso de programas BIM, en todos los casos, es importante que el personal encargado de la elaboración de los modelos tenga un amplio conocimiento y calibración del programa para obtener resultados más acertados.

La elección del software debe ser acompañada de criterios técnicos de expertos y no simplemente de vendedores, también, se deben tener en cuenta los objetivos de la simulación que se desean obtener y de la normatividad vigente y hacia donde apunta ésta para elegir un programa que sea capaz de satisfacer los requerimientos emitidos por estándares y normas.

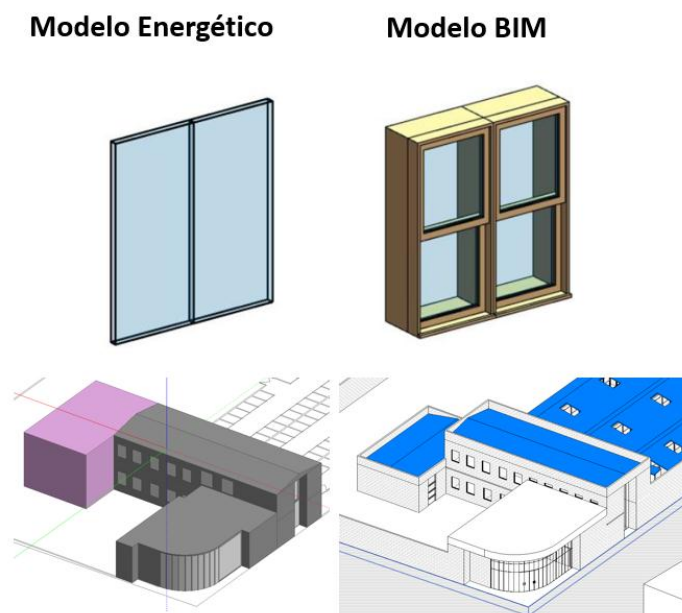
Como ya se mencionó, existen diferentes programas para tipos específicos de simulación, otros integran varios tipos de simulación, los precios varían desde versiones gratuitas a versiones pagas, llegando a costar varios millones (COP) una licencias de software. En el sitio oficial [www.buildingenergysoftwaretools.com](http://www.buildingenergysoftwaretools.com), reconocido por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, se puede acceder al listado de programas disponibles en el mercado, que cumplen con los requisitos del IBPSA-USA (*International Building Performance Simulation Association*). En el Anexo C se hará una breve reseña de los programas más utilizados.

### **1.5 Modelos energéticos**

Después de haber estudiado la clasificación de las simulaciones energéticas, se investiga acerca del término: modelos energéticos y sus variantes con el fin de ampliar el panorama del tema de investigación.

Los modelos producidos para el propósito de estimación energética son representaciones virtuales en un entorno tridimensional con características definidas, a diferencia de modelos de diseño generados bajo metodología BIM, donde éstos tienen un alto y significativo nivel de complejidad

y detalle, los modelos energéticos son más simplificados, por razones de tamaño de archivos, rendimiento de máquina para simulación y además, porque tales detalles no son determinantes al momento de la simulación.



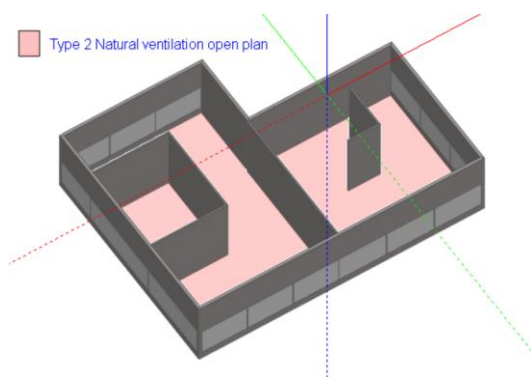
*Figura 1. Niveles LOD en modelos energéticos y modelos BIM.*

*Fuentes (arriba) Integration of BIM and CFD Yuncun Cai & Julian Kang; (abajo) propia (2017).*

Los modelos de simulación energética se generan teniendo en cuenta la geometría y dimensiones del proyecto y están divididos por zonas, que son espacios definidos y totalmente cerrados, las cuales son la base de la simulación, porque los algoritmos de cálculo reportan datos para cada zona; al final, el programa arroja los datos por zona o para el total de zonas del edificio. Estos modelos, tienen como único propósito reportar datos inherentes a la simulación energética, no están elaborados para obtener datos de cantidades de materiales, planimetrías o coordinación 3D. Los materiales que se emplean en estos modelos, están configurados para calcular valores de resistencia y valor U, etc., además de hacer cálculos en cuanto a la ganancia y pérdida de calor a través de las superficies, basados en sus propiedades físicas como transparencia o materiales opacos. Los énfasis principales de estos modelos son las dimensiones, los porcentajes de

ventanería, los materiales, las geometrías, los vacíos de cielo rasos y las zonas. Estos modelos están a su vez compuestos de múltiples variables que se determinan en las entradas o inputs que se llevan a cabo dentro del programa de simulación. Estas variables son de alta relevancia puesto que constituyen las vías para que los resultados arrojados sean más cercanos a la realidad. Estos modelos deben tener en cuenta inputs específicos como:

- Generación de calor por ocupación y equipos.
- Controles ambientales: setpoints de calefacción, refrigeración y ventilación
- Materiales.
- Configuración de aberturas en cuanto a operación de las ventanas, puertas y rejillas y relación aberturas / muro.
- Requerimientos de iluminación para desarrollo de tareas.
- Requerimientos de HVAC.



*Figura 2. Modelo energético con zonas definidas.*

*Fuente DesignBuilder Manual.*

## **1.6 Tipos de modelación energética**

Dependiendo de los objetivos de las medidas de conservación energética, los objetivos del dueño del proyecto y objetivos del diseño, se desprenden diferentes tipos de modelado para cubrir necesidades específicas (CIBSE AM11 2015, p. 41).

### **1.6.1 Modelación para simulación energética**

Son modelos utilizados para medir las demandas de uso de energía en la edificación, son ampliamente utilizados por ingenieros para calcular las cargas de equipos de ventilación y aire acondicionado. La complejidad de estos modelos varía dependiendo de la clasificación de la simulación. Son los modelos más utilizados por estar directamente relacionados con la búsqueda de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Muchos de estos modelos son usados en la modelación para cumplimiento de normatividad, cuando éste es el propósito, se debe tener presente que los resultados no son recomendables para medir el consumo total de energía, si este es el caso, el modelado total para evaluación energética debe ser usado (*bespoke modeling*). Las mayores expectativas de estos modelos están relacionadas con el asunto de las cuentas derivadas por consumos, puesto que la simulación estima el consumo energético para las diferentes fuentes que se vayan a utilizar.

#### **1.6.1.1 Geometría y zonificación**

La mayoría de modelos de este tipo requieren que sea creada una geometría 3D, se debe contar con experiencia para crear tales modelos puesto que diferentes asuntos inherentes a la modelación son cruciales para producir resultados adecuados. Los detalles arquitectónicos deben ser suprimidos y se debe optar por un modelo de nivel de detalle mínimo para permitir que el proceso de la máquina para simular no sea tan lento. En este punto se prefieren los softwares que permiten la representación tridimensional del espesor de las superficies sobre los que muestran un espesor de cero en apariencia para definir las envolventes y divisiones. La regla fundamental para

el modelado de zonas es conservar el área y el volumen de la misma puesto que estos datos interfieren directamente en el cálculo de métricas asociadas al aire. Es importante modelar masas que se aproximen al volumen que ocupan los muebles ya que estos aspectos alteran los resultados de la simulación final. Las zonas deben ser creadas por espacios con desempeños similares, así, en el ejemplo de un modelo para una clínica, el área de consultorios debe ser modelada como una única zona y no zona por consultorio a menos que la posición u orientación de los mismos sea diferente. Es necesario recordar que los cálculos se hacen basados en cada zona existente. En resumen, la creación de zonas debe ser consistente con los siguientes aspectos:

- Espacios de desempeño similar sin controles ambientales.
- Espacios con los mismos sistemas de ventilación, enfriamiento y calefacción.
- Espacios con los mismos *setpoints* para calefacción y enfriamiento.
- Espacios con las mismas ganancias solares (tamaños de ventanas similares, orientación de las fachadas).
- Espacios con ganancias de calor similares por ocupación y equipos.
- Espacios con bajos niveles de masa térmica en muros divisorios (particiones con sistemas de construcción liviana).

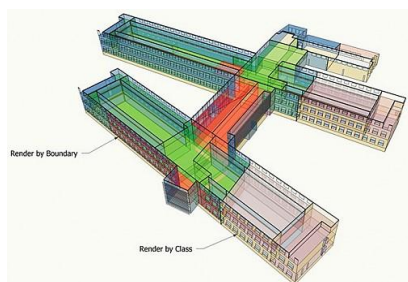


Figura 3. Modelo energético con análisis por zonas.

### 1.6.1.2 Sombras solares

En estos modelos es muy importante modelar las obstrucciones adyacentes que generan sombra en el edificio. Ejemplo, edificios cercanos, masas de árboles, voladizos, cortasoles. Como en la

mayoría de las características de modelado, debe ser evitado el excesivo detalle en los elementos. Lo más importante a tener en cuenta es asegurar que los elementos cercanos creen el área aproximada de la sombra que deben generar.

#### **1.6.1.3 Iluminación natural**

El modelado de iluminación natural reviste importancia debido a que datos adecuados en este énfasis colaboran en la el ahorro de gasto energético, resultando en reducción de consumo. La correcta modelación de aberturas es fundamental para lograr resultados cercanos a la realidad. En resumen, el aspecto fundamental de la iluminación natural en este tipo de modelación es determinar el nivel de iluminación que se puede obtener bajo condiciones naturales para determinar si se debe complementar con iluminación artificial.

#### **1.6.1.4 Ventilación e infiltración**

Esta variable está dividida en ventilación por horarios fijos o por flujo de aire en el modelo. Los requerimientos de ventilación natural deben ser ingresados en el modelo, los datos se pueden encontrar en los códigos de construcción sostenible de cada país o en los estándares de organismos internacionales acreditados. Los datos para infiltración deben ser fijados con respecto a los cálculos elaborados por el especialista, los programas de ventilación tienen configurados escenarios probables para éstas variables. Se debe especificar también el modelado de ventilación mecánica basado en cálculos hechos por el especialista.

#### **1.6.1.5 Perfiles de ocupación, equipos e iluminación**

Estos perfiles deben ser ingresados para que la simulación tenga en cuenta esta variable, la cual determina las cargas de los equipos HVAC, cargas para iluminación y operación de equipos entre

otros. Los software vienen con plantillas para diferentes tipos de edificación y uso, incluso, programas como DesignBuilder traen plantillas ajustadas a perfiles de ocupación del ASHRAE.

### **1.6.2 Modelación para simulación térmica**

Estos modelos están relacionados con el desempeño termodinámico de la edificación al interior, por lo tanto están estrechamente relacionados con el confort humano, sus principales objetivos: orientación para contribuir a un diseño que tenga en cuenta el confort para los usuarios, los requerimientos mínimos de termorregulación corporal y contribución a la evaluación de un sistema de certificación en diseño sostenible como BREEAM o LEED. Los criterios de confort deben ser fijados por el equipo de diseño y a su vez deben ser fijados en los modelos para cumplir con esas métricas. Se prefieren los modelos dinámicos sobre los estáticos para una evaluación más amplia del fenómeno termodinámico de la edificación.

Las métricas que se buscan en este modelado son temperatura operativa, temperatura radiante, temperatura del aire. Es aconsejable que esta modelación inicie en una fase de diseño esquemático. Es necesario generar reportes para las semanas más frías y más cálidas con el fin de ofrecer estrategias de diseño para garantizar el bienestar a los ocupantes durante esos periodos.

#### **1.6.2.1 Interacciones entre el ambiente térmico interior y el confort térmico**

El confort térmico interior humano depende de una diversa lista de factores. Físicamente empieza con el intercambio dinámico de calor y humedad entre el cuerpo humano, prendas de vestir y su ambiente inmediato. Al ser el ser humano una especie de sangre caliente, significa que todo el alimento que consume lo utiliza para mantener su temperatura promedio de 37°C (Lechner, p. 386). La generación de calor toma lugar gracias a los mecanismos de conducción, convección, irradiación y evaporación. También tiene una base psicológica que no es posible de modelar, pero, existen modelos de análisis que ayudan a calibrar la sensación térmica por grupos de personas de acuerdo a rangos de edad, sexo, ocupación, etc.



En resumen, los factores que influyen en la respuesta termodinámica del edificio son:

- Temperatura ambiental local.
- Velocidad local del viento.
- Humedad relativa local.
- Temperaturas de superficies circundantes.

#### **1.6.2.2 Condiciones térmicas del ambiente**

Las cuatro condiciones ambientales que pueden alterar el confort térmico en las personas se listan a continuación (Lechner, p. 394):

- Temperatura del aire: determina el ritmo en el cual hay pérdida de calor al aire por parte de las personas, si la temperatura es alta habrá ganancia de calor o pérdida si existe una disminución de la temperatura.
- Humedad Relativa: Es la cantidad de vapor de agua que puede almacenar el aire, esto determina si el proceso de evaporación de la piel es satisfactorio o no. La evaporación por sudor es un mecanismo de disipación de calor, cuando el aire tiene una humedad relativa entre 30-65% la piel puede efectivamente remover el exceso de humedad, por el contrario, cuando la humedad es alta, el mecanismo de evaporación no es muy efectivo.
- Movimiento del aire: la velocidad a la cual el aire pasa por el cuerpo produce pérdida de calor por convección y evaporación, también la sensación térmica varía, velocidades altas en verano son apreciadas, mientras que en invierno pueden incrementar la sensación de frío. Una velocidad muy alta también puede producir discomfort.
- Temperatura Media Radiante: Es la re-radiación de la temperatura por parte de los objetos circundantes a un cuerpo vivo, el ejemplo es la sensación de mayor temperatura cuando una persona está sentada próxima a una ventana que da hacia el sol y otra que no cuando están en un mismo recinto a una temperatura constante para el espacio.

### **1.6.2.3 Mecanismos de flujo de calor**

De acuerdo a la segunda ley de termodinámica que establece que el calor fluye siempre de cálido a frío. Los mecanismos para la transmisión de calor son los que se describen a continuación:

- Conducción: mediante cuerpo o cuerpos en contacto debido a movimiento molecular.
- Convección: el calor es transmitido o perdido por medio de un fluido (líquido o gaseoso).
- Radiación: transmisión de calor desde un cuerpo con una superficie cálida a un cuerpo frío.

### **1.6.2.4 Efectos del clima en el hombre**

Los efectos que el clima ejerce en el hombre inciden directamente tanto en la energía como en la salud (Olgay, p. 14). Esto puede generar que las personas sientan mayor o menor energía dependiendo de si están sometidas a condiciones de temperaturas muy cálidas o muy frías, puesto que parte de su energía disponible está siendo utilizada en termo regular su cuerpo, por lo tanto, la vivienda o recinto donde se alojen los individuos son los principales mecanismos de protección contra el ambiente, otros mecanismos como la vestimenta son fundamentales en este propósito. De lo anterior se desprende la importancia por proyectar espacios que garanticen el confort de las personas, donde se alcance un equilibrio térmico y donde a su vez se produzca bienestar en los habitantes.

### **1.6.2.5 Zona de confort**

La zona de confort se define como el rango aceptable para de condiciones de confort, en ella están establecidos los límites de temperatura y de humedad. Para temperatura se toma la temperatura neutra y se especifica un rango de  $\pm 2.5$  K el cual está fijado para un 90% de aceptabilidad, se puede manejar también un  $\pm 3.6$  K para un 80% de aceptabilidad. Los datos más estimados para generación de confort son temperatura y humedad, por lo tanto, asumiendo los datos de  $T_n$  se pueden analizar en un diagrama psicrométrico para hallar la equivalencia en confort para humedad relativa.

### **1.6.2.6 Estándares de confort térmico**

Los estándares de confort térmico colaboran en la satisfacción de requerimientos por parte de los ocupantes en cuanto a salud, bienestar y productividad. Existen muchos estándares que intentan medir el confort humano, sin embargo, los que tienen relevancia en el campo de la ingeniería para el diseño son (CIBSE AM11 2015, p. 55):

- Temperatura fuera de rango: apropiado para edificios sin HVAC o con sistemas mecánicos de menor tamaño.
- Equilibrio de Calor: apropiado para edificios que operan con sistemas HVAC controlados.
- Confort Térmico Adaptativo: apropiado para todo tipo de edificios durante condiciones medias de temperatura durante los periodos en los cuales no se necesita una ventilación ni calefacción activa o en edificios que no van a tener HVAC.

### **1.6.2.7 Estándar: temperatura fuera de rango**

Establece límites en el tiempo en el cual la temperatura del aire u otra métrica relacionada puede estar por fuera de un umbral, ampliamente utilizada para criterios de sobre calentamiento como también para criterios de bajo calentamiento. Este estándar no satisface completamente criterios de confort, más bien, evita episodios de discomfort.

### **1.6.2.8 Estándar: equilibrio de calor**

Se basa en la teoría de Fanger (CIBSE AM11 2015, p. 59) acerca de su postulación de que las ganancias versus pérdidas de calor en el cuerpo humano deben estar balanceadas, es decir, deben ser iguales para que exista confort térmico. Es importante recalcar que el cuerpo humano intercambia calor con sus alrededores mediante los mecanismos de radiación, convección, evaporación y conducción. Por lo tanto ese equilibrio teórico no es tan fácil de que se produzca. En cambio, existen dos tipos de medición estandarizados y reconocidos por organismos internacionales como el CIBSE y el ASHRAE: PMV (Predicted Mean Vote) y PPD (Predicted

Percentage of Dissatisfied, ambos propuestos por Fanger. PMV es una medida estática de confort térmico y se deriva de los siguientes factores:

- Rata metabólica
- Temperatura del aire
- Temperatura media radiante
- Velocidad relativa del aire
- Presión parcial de vapor de agua
- Energía mecánica efectiva
- Nivel de aislamiento por ropa
- Factor de área de ropa
- Temperatura de superficie de ropa
- Coeficiente de transmisión de calor por convección

PMV es capaz de predecir la sensación de temperatura de un gran grupo de personas objetivo.

Este tipo de medida es fundamental en los procesos de modelación puesto que el programa será capaz de estimar la sensación de temperatura de un grupo representativo entre el total de usuarios del proyecto. PPD es derivado de PMV y es capaz de predecir qué proporción del grupo de usuarios de la edificación experimentarán disconfort térmico.

Scale point	Thermal sensation
+3	Hot
+2	Warm
+1	Slightly warm
0	Neutral
-1	Slightly cool
-2	Cool
-3	Cold

*Tabla 1. Escala de sensación térmica para PMV.*

*Fuente CIBSE AM11 (2015).*

### **1.6.2.9 Estándar de confort térmico adaptativo**

Para entender éste estándar es necesario comprender que existe una teoría llamada balance de calor, la cual indica, que existe la suposición de que se alcanza una condición estática de calor, no obstante, existen varios argumentos para refutar dicha teoría, debido a que la temperatura es el resultado de una interacción de diferentes variables como la ocupación humana, condiciones climáticas externas e internas, entre otros. Confort térmico adaptativo sugiere, que las personas se acostumbran a un tipo de clima por un espacio prolongado a condiciones climáticas similares y que cuando existen variaciones a la temperatura acostumbrada el ser humano interactúa con su ambiente para intentar mitigar su disconfort térmico mediante adaptaciones en su vestimenta u otros (HUMPHREYS). Basados en estos principios, se han incorporado diferentes teorías en programas de cálculo para establecer criterios de diseño donde se establecen límites de temperatura.

### **1.6.2.10 Inputs requeridos para la simulación térmica**

#### **1.6.2.10.1 Geometría y zonificación**

En la simulación térmica es muy importante la transferencia de calor por muros, por lo tanto, la zonificación debe ser entendida de acuerdo a los espacios que tendrán características similares, sin embargo, algunas consideraciones, tanto del software como técnicas se deben tener en cuenta, esto aplica para cuartos individuales que necesitan ser subdivididos, donde los muros divisorios no deben incluir masa térmica o resistencia térmica y no deben impedir la transferencia de calor entre zonas.

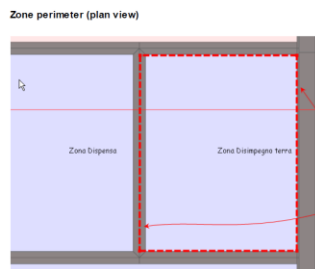


Figura 4. Perímetro de zonas.

Fuente DesignBuilder Manual.

### 1.6.2.10.2 Características de los materiales

El grosor de materiales y la correcta modelación para que el programa clasifique los elementos constructivos (muros, techos, cielo falsos, ventanas), son cruciales para obtener resultados adecuados

### 1.6.2.10.3 Sombras solares

Se deben tener en cuenta las sombras arrojadas por edificios cercanos, puesto que esto puede influir en la transferencia de calor de las fachadas. Si existe un mobiliario muy denso o específico como en el caso de las estanterías de una biblioteca, este debe ser modelado. Se debe tener en consideración que fachadas de edificios adyacentes que sean de vidrio serán factores para aumentar el calor del proyecto por radiación, sin embargo, los software no contemplan estas particularidades. Lo mismo sucede con la reflexión solar de los pisos.

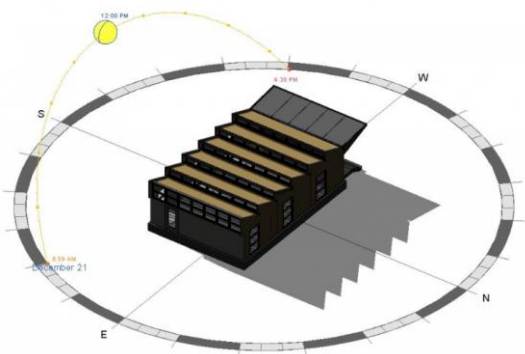


Figura 5. Análisis de sombras solares con Autodesk Revit.

#### 1.6.2.10.4 Datos climáticos

Se deben evaluar diferentes periodos del año para obtener datos promedio de las temperaturas, así mismo es necesario que se evalúen diferentes temporadas climáticas como: semana más fría o semana más cálida, es válido también el concepto de simulación de semana típica de verano o semana típica de invierno.

### 1.6.3 Modelación para ventilación

Los modelos para ventilación emplean una tecnología conocida como CFD (Computational Fluid Dynamics), la cual ha crecido en demanda por asuntos de confort térmico y calidad del aire en las edificaciones. Los resultados arrojados muestran el comportamiento de aire en su paso por la edificación o sus alrededores. En estos modelos son fundamentales la especificación de aberturas e inputs de infiltración. También se emplean para simular la ventilación mecánica y su impacto en el confort. Estas simulaciones pueden predecir el movimiento del aire, la temperatura y distribución de contaminantes (CIBSE GUIDE A 2017, p. 5-74).

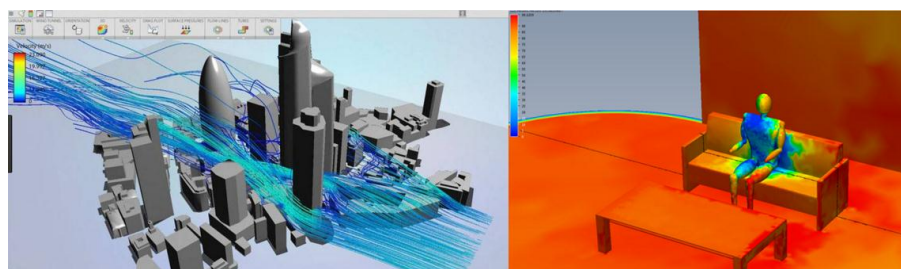


Figura 6. Simulación CDF.

Fuentes, izq., Autodesk Flow Design y der., Autodesk CFD.

Las principales razones para la elaboración de CFD son:

- Para probar y refinar un diseño propuesto
- Para investigar el desempeño de una instalación existente que puede estar sujeta a cambios en las condiciones de operación

CFD es la técnica más compleja que existe para el análisis y distribución del aire, los algoritmos para la resolución de la simulación, los cuales contienen ecuaciones diferenciales y lineales complejas no son un problema mayor para los usuarios puesto que los programas los integran, el usuario no tiene que entrar a formular sino solamente a modelar y generar los inputs adecuados. Entre las partes que componen los CFD se encuentran los algoritmos que resuelven la distribución de aire, temperatura y distribución de contaminantes; las condiciones de borde y las condiciones de malla.

### **1.6.3.1 Condiciones de borde**

Las condiciones de borde pueden ser divididas en dos: bordes sólidos y bordes de flujo.

#### **1.6.3.1.1 Bordes sólidos**

Dentro de esta categoría se encuentran muros, ventanas, placas, techos, mobiliario, ocupantes y equipo, en ellos se especifican valores de velocidad y propiedades térmicas.

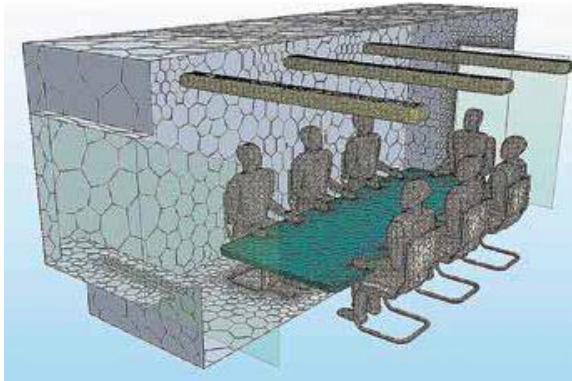
#### **1.6.3.1.2 Bordes de flujo**

Los bordes de flujo representan las áreas donde puede existir entradas o salidas de aire, éstas pueden estar basadas por factores como la presión, un volumen de flujo fijo (ventilación mecánica) o una velocidad fija.

### **1.6.3.2 Malla de computación**

Para lograr el análisis de la distribución del viento, el espacio debe ser subdividido en espacios muy pequeños conocidos como células. El espacio de aire es conocido como el dominio y este espacio es sujeto de la subdivisión de células.





*Figura 7. Malla de polígonos.*

*Fuente CIBSE AM11 (2015).*

### **1.6.3.3 Visualización de resultados**

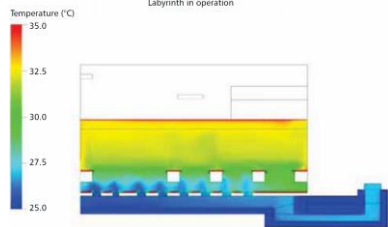
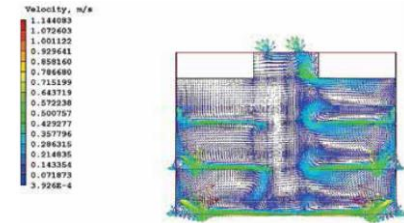
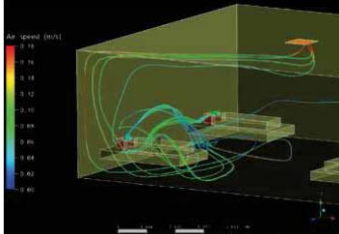
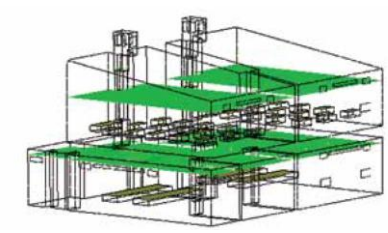
Tipo de Resultado	
Ploteos de Contornos Rellenos	Descripción
	El más utilizado, permite apreciar los resultados mediante una imagen sólidos degradados de acuerdo a una escala de convenciones (leyenda)
Ploteos de Contornos Rellenos	Descripción
	Muestran vectores pero muchas veces no se pueden interpretar tan fácilmente debido al tamaño o número de los mismos.
Streamlines (líneas de corriente)	Descripción
	Más útil que los vectores, muestra líneas que configuran cual es el recorrido de las corrientes de aire
Iso Surfaces	Descripción
	describen una superficie de un valor absoluto, la superficie es generada en el punto donde cierta condición buscada es alcanzada. En el ejemplo a ese nivel las superficies plotean el punto en el que la presión es = 0

Tabla 2. Tipos de visualización de resultados para CFD.

Fuente CIBSE AM11(2015).

### 1.6.4 Modelación para iluminación

Estos modelos tienen como objetivo principal la evaluación de condiciones de iluminación natural y artificial dentro de la edificación, mediante la especificación del tipo de tareas que se

adelantarán en el lugar proyectado, esta simulación debe tener datos de nubosidad y de radiación global para estimar desempeño. Actualmente ha venido ganando fuerza la metodología CBDM, similar a una simulación dinámica para demanda energética, pues antes se utilizaba el método de Factor Luz Día el cual consistía en un método estático, con CBDM se obtienen datos de las 8760 horas además de factores anteriormente descritos como nubosidad entre otros. Su uso está enfocado tanto para confort, como por ejemplo medición de Lux y de deslumbramiento como para medidas de ahorro de energía.

#### **1.6.4.1 Factor luz día**

El factor luz día (DF, daylight factor, por su sigla en inglés) es definido como la relación entre el nivel de iluminación al interior y el nivel de iluminación al exterior (Szokolay, 2014. P. 300) su valor se mide en porcentaje. La métrica que se busca es de al menos 2%, si hay un DF del 5% no se necesita de iluminación artificial. Los parámetros tenidos en cuenta para la simulación se resumen a continuación.

##### **1.6.4.1.1 Modelación de la geometría**

Los modelos a utilizar para realizar la simulación del DF deben incluir todas las geometrías que estén involucradas con la transmisión del fenómeno lumínico, tales como voladizos, ventanas, muros, placas, lucernarios, entre otros. La complejidad del modelo debe ser definida para evitar que los programas demoren más tiempo en la producción de resultados sin embargo, estructuras como persianas y cortasoles deben ser incluidas. Este tipo de simulación acepta un poco más de complejidad en el modelo.

##### **1.6.4.1.2 Propiedades físicas**

Se deben establecer adecuadamente las propiedades de los materiales, definir adecuadamente en el modelo que elementos son opacos y cuales son translúcidos. Los colores en los materiales también juegan un papel importante debido a su propiedad para reflejar la luz.

### 1.6.4.1.3 Sensores en puntos de cuadrícula

El sensor de punto es un punto asignado en el espacio por una cuadrícula, donde ese punto simula el fenómeno de iluminación en específico para su ubicación. El establecimiento de la cuadrícula debe cubrir toda el área a ser evaluada.

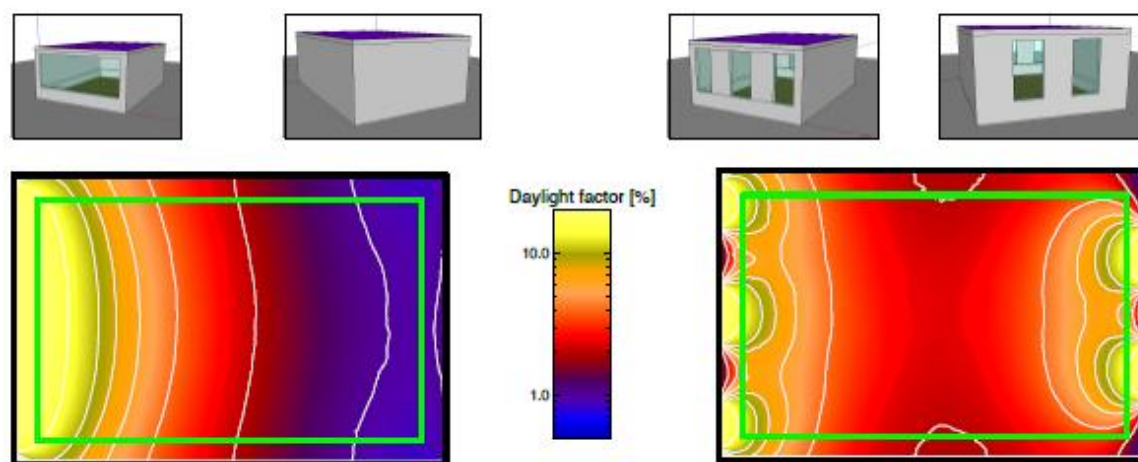


Figura 8. Resultados para DF de una simulación.

Fuente. *Climate-Based Daylight Modelling And Its Discontents* (Mardaljevic).

### 1.6.4.2 Climate based daylight modeling (CBDM)

CBDM es la predicción cantidades luminosas (iluminancia, luminancia) usando condiciones realísticas de cielo derivadas de un archivo climático. Es un análogo de la simulación energética dinámica puesto que la simulación DF es estática, asumiendo un escenario de la peor condición de iluminación. Los parámetros fundamentales en este tipo de simulación son iluminancia difusa horizontal e iluminancia normal directa. La primera se refiere a la luz visible por parte de un cielo no obstruido (nubes, entre otros) y que incide en una superficie horizontal, el segundo es la luz visible del sol que incide en una superficie.

#### 1.6.4.2.1 Métricas para CBDM

Las métricas para la evaluación y análisis de simulación CBDM son (Hill, p. 2):

- **Daylight autonomy**, actualmente conocida como dynamic daylight metrics, representa un porcentaje de horas que a determinado punto están por encima de los 300 lux en un área, lo que indica que la iluminación artificial no es necesaria. Sin embargo tiene vacíos frente a que si bien puede haber un fenómeno lumínico por encima de los 300 lux, es sabido que los ocupantes pueden encontrar problemas de deslumbramiento y sobrecalentamiento de los espacios lo que generará la activación de cortasoles disminuyendo los lux específicos y por lo tanto generará la activación también de iluminación artificial.
- **Useful daylight illuminance:** predice la ocurrencia de iluminancia dentro de rangos, estableciendo que iluminancias en el rango de 100 – 300 lux son consideradas apropiadas como única fuente de iluminación en conjunto con iluminación artificial, luego, rangos superiores a los 300 lux hasta los 3000 lux se consideran apropiados para actividades con iluminación natural como única fuente. Valores por encima de los 3000 lux se consideran molestos y generan la utilización de cortasoles.
- **Espatial daylight autonomy (sDA):** se basa en el logro de alcanzar 300 lux para el 50% del periodo de análisis (08:00 – 18:00 h) a lo largo del 55% o más de la superficie considerada nominalmente aceptable y 75% o más de la superficie favorable o preferida.

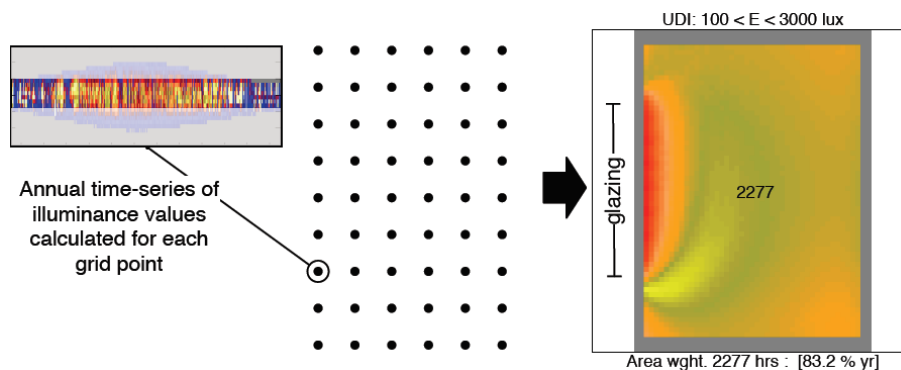


Figura 9. Representación Gráfica de UDI.

Fuente *Climate-Based Daylight Modelling And Its Discontents* (Mardaljevic).

## **1.7 Limitaciones y expectativas de las simulaciones energéticas**

Es importante entender, que la simulación energética no debe ser tomada como una predicción exacta, en cambio, ésta debe ser entendida como una estimación detallada que colabora en el entendimiento de los factores que afectan el uso de energía de una edificación. Los cálculos deben integrar muchos de los factores que tienen que ver con la demanda energética del edificio, como ascensores, luminarias externas, ventiladores y bombas hidráulicas. Es muy importante que los futuros propietarios del edificio tengan conocimiento de las expectativas de la simulación y explicarles que los modelos son una versión idealizada de la realidad y que el proyecto no se va a desempeñar exactamente igual al modelo, al mismo tiempo, es necesario informarles que la simulación energética es el método más avanzado con el que cuenta la industria para evaluar el desempeño energético de la edificación antes de que sea construida dentro de un margen de incertidumbre (CIBSE AM11, 2015, p. 42).

Algunas de las razones para las limitaciones de la simulación energética son:

- Los ocupantes nunca van a operar el edificio como se asume en el modelo.
- Las condiciones de clima de los archivos que contienen las bases de datos climáticas son un promedio y no representan a un año en específico.
- Los programas tienen paquetes de cálculo que usan diferentes algoritmos para mantener un equilibrio entre velocidad y exactitud lo cual resulta en resultados diferentes.

Siempre es importante contar con la experiencia de los profesionales que desarrollan la simulación para que hagan ajustes cuando encuentren resultados de simulaciones versus métricas reales muy diferentes. También, es muy recomendable que se haga la simulación post-ocupación junto con los operadores del edificio para encontrar las diferencias y hacer ajustes, esta colaboración debe ser orientada hacia la calibración de los modelos más que a enfatizar en los errores y señalamientos de culpa.

## 1.8 Estado del arte

### 1.8.1 Metodologías de simulación

Diferentes metodologías de simulación se han documentado por diferentes organismos, la elección de las mismas están íntimamente relacionadas con el tipo de simulación, los objetivos, la clasificación de simulación, si es para cumplimiento de norma o para modelos detallados, sin embargo, muchas incorporan principios fundamentales y se van diferenciando en la complejidad de inputs que recibe el modelo. Entre esas diferentes metodologías son objeto de estudio en esta tesis dos en particular: *Perimeter Zone Optimization Method* y *Whole-Building Energy Modeling*, la primera por ser una metodología que apunta a ahorrar tiempo en modelado y obtener resultados efectivos (ASHRAE, AEDG 50% Offices, 2014, p. 211) y la segunda por ser una metodología adoptada por otro organismo reconocido, el CIBSE.

#### 1.8.1.1 Metodología *perimeter zone optimization method* (PZOM)

Es un método iterativo de aproximación a la simulación energética del proyecto mediante el modelado de una zona representativa de tamaño inferior (4.00 x 6.00 m) para simular una serie de permutaciones en la fachada, el acristalamiento y configuraciones para sombreado. Esta es una aproximación de un análisis sensible que se concentra en las permutaciones de la envolvente del edificio y sus impactos potenciales en el intercambio de calor con el exterior. Las ventajas son el ahorro de tiempo en el modelado de ideas más complejas cuando hay una propuesta formal de diseño y la libertad de configurar y diseñar una fachada que pueda tener un desempeño optimizado, sin mencionar que es la primera aproximación para la evaluación energética del edificio en un estadio temprano en la etapa de diseño. Este método puede ser aplicado a cualquier tipo de edificio. La desventaja de la metodología es que sólo se centra en la fachada, por lo tanto, debe ser un precursor al método de Modelado Energético Total del Edificio (*Whole-Building*

*Energy Modeling*). El objetivo de este método, más que brindar soluciones es aportar información al equipo de diseño para tener en múltiples variables.

Con esta metodología de modelado, se adquieren datos de simulación en etapas tempranas de diseño, estimando el comportamiento de diferentes variables, aire acondicionado, iluminación, ventilación, desempeño termodinámico y su respuesta a las opciones de diseño que más impactan: orientación, geometría, envolvente. Por esto, es necesario, que se incluyan todos los aspectos que puedan contribuir a la eficiencia energética para probarlos y obtener diseños optimizados.

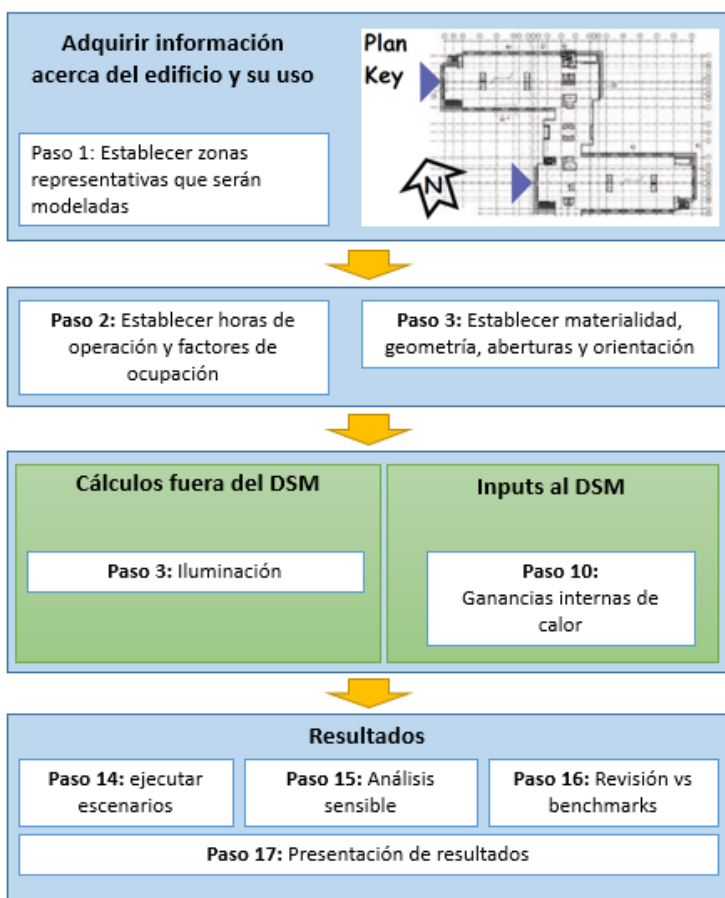


Figura 10. Infografía de pasos para elaboración de simulación PZOM.

Fuente modificación de CIBSE TM54 (2013) y ASHRAE AEDG 50% Medium Office Building (2011).



### **1.8.1.2 Aspectos fundamentales para ser abordadas con metodología PZOM**

- Asignación de presupuesto para la organización de reuniones y esfuerzos que permitan en una fase temprana la discusión de temas fundamentales con el objetivo de obtener un diseño optimizado en términos energéticos.
- Un acuerdo común entre los actores del proceso acerca de que encontrar errores al principio del diseño es mucho más económico de solucionar que encontrarlos en etapas posteriores del diseño.
- Tener claro que estas discusiones en etapas tempranas del diseño no han de reducir la creatividad del diseñador, antes bien, tendrán la oportunidad, gracias a las simulaciones energéticas, de explorar varias alternativas y ajustarlas a un diseño optimizado.
- Tener en cuenta que las nuevas metodologías de diseño han generado que hayan más actores en el proceso de diseñar, por lo tanto el arquitecto debe tener en cuenta más opiniones, pero debe ser consiente que al final tendrá un edificio altamente eficiente común menor impacto en la estética del proyecto.

### **1.8.1.3 Alcances**

- Evaluación temprana del diseño en sus componentes de fachada (materialidad, dispositivos para sombra, porcentaje de aberturas) y orientación.
- Datos aproximados a las métricas de desempeño energético del diseño que sirven para apoyar la toma de decisiones.
- Resultados en gráficas y tablas que son documentos necesarios para la toma de decisiones en las reuniones grupales ante todo el equipo de diseño.

### **1.8.1.4 Desventajas**

- Limitaciones inherentes a las simulaciones energéticas.
- Datos aproximados a los presentados con metodología WBEM

- Mayor incertidumbre, sin decir que no sea viable, en la medición de aspectos relacionados con la ocupación del edificio, cuando el comportamiento térmico es dependiente en gran medida por esta variable.

### 1.8.2.1 Metodología *whole building energy modeling* (WBEM)

Esta metodología de modelación requiere que todo el edificio sea modelado de acuerdo al diseño elegido, lo ideal es que este modelado se elabore en etapas avanzadas de diseño donde ya se tiene más certeza sobre los materiales a utilizar, la configuración del edificio, orientación, requerimientos del dueño del proyecto, entre otros. Los tiempos de simulación son mayores comparados con la metodología anterior, sin embargo, aporta resultados más concretos para el edificio como tal. La metodología presenta las mismas limitaciones presentadas en el capítulo Limitaciones y Expectativas. El orden de simulaciones debe ser: comenzar por PZOM y luego, cuando el diseño ha avanzado seguir con la metodología WBEM.

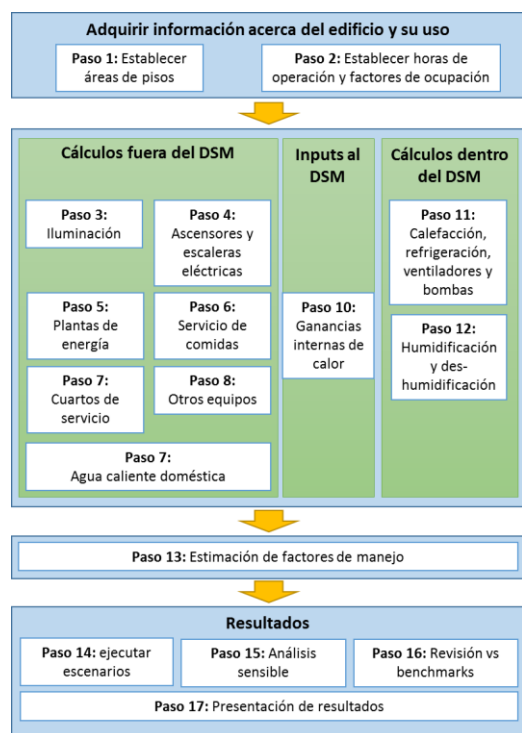


Figura 11. Infografía pasos para elaboración de simulación WBEM.

Fuente CIBSE TM54 (2013).

### **1.8.2.2 Establecer áreas de piso**

Se deben establecer las áreas que serán sujeto de la simulación debido a dos factores principales, comparación de benchmarks por metro cuadrado y para efectos de cálculos del programa. Existen diferentes aproximaciones a la definición de áreas (CIBSE Guide F, 2012, p. 13-1):

- Área interna bruta (AIB): áreas totales del edificio medidas al interior de los muros.
- Áreas de piso tratadas (APT): AIB menos cuartos de máquinas y otros (parqueaderos cubiertos, áticos, depósitos).
- Área neta rentable (ANR): AIB menos áreas comunes y espacios auxiliares.

### **1.8.2.3 Estimación de horas de operación y factores de ocupación**

Estos datos deben estimarse para calcular los gastos energéticos asociados a los mismos, por lo general existen plantillas, en el caso de DesignBuilder, vienen plantillas para diferentes tipos de edificios y diferentes tipos de usos, de fuentes propias del programa y de estimativos publicados por el ASHRAE. Muchos factores deben tenerse en cuenta, tales como los horarios para limpieza del edificio, festivos, qué gasto energético se desprende del equipo de seguridad cuando trabaja en la noche, entre otros.

En los factores de ocupación deben tenerse en cuenta aspectos relacionados con picos de ocupación, factores extra como asambleas u otro tipo de reuniones que puedan llegar a ser periódicas, entre otros.

### **1.8.2.4 Evaluación de iluminación**

Los factores de iluminación deben estar encaminados a satisfacer y conocer los rangos mínimos de lux necesarios para realización de tareas, por lo tanto, las actividades principales y secundarias del proyecto deben ser inventariadas. Se deben establecer también otros tipos de iluminación como: luces portables, iluminación exterior, luces de escenario y entretenimiento, luces de avisos (rutas de evacuación, publicidad).

### **1.8.2.5 Evaluación de uso de energía para ascensores y escaleras**

El uso de estos aparatos debe ser incluido en las simulaciones para obtener estimaciones más aproximadas a la realidad. Existen diferentes métodos para su cálculo, algunos de ellos se pueden encontrar en la guía D del CIBSE.

### **1.8.2.6 Evaluación de uso de energía para equipo menor y catering**

En esta sección se describe el uso de equipo menor como estaciones de trabajo (computadores), equipos de oficina, hornos microondas, cafeteras, refrigeradores, máquinas expendedoras de alimentos, entre otros. De la misma manera, existe información disponible para calcular estos consumos. Algunos programas cuentan con plantillas de consumo aproximado, DesignBuilder cuenta con datos estándar que pueden ser personalizados. Los servicios de catering (alimentación) deben tener en cuenta los lugares donde se procesan alimentos dentro del proyecto y su impacto, algunas empresas cuentan con casinos de alimentos, mientras que otras apenas cuentan con cocinetas para ocasiones especiales.

### **1.8.2.7 Evaluación de uso de energía para cuartos de servicio y otros equipos**

Los cuartos de servicio deben ser incluidos, con estimaciones aproximadas, diferentes organismos como el CIBSE y el ASHRAE tienen tablas para estimaciones. Entre los equipos anexos que deben ser estimados como inputs al modelo son:

- Sistemas de seguridad
- Equipo médico
- Máquinas de gimnasio
- Equipo de lavandería
- Servidores

#### **1.8.2.8 Estimación de consumo de agua caliente**

Para calcular el consumo energético asociado al servicio de agua caliente se debe establecer el consumo en litros para determinar la cantidad de energía necesaria para calentar el agua. Existen datos representativos en los estándares del CIBSE y del ASHRAE

#### **1.8.2.9 Evaluación de ganancias internas de calor**

Las ganancias internas de calor proceden de las personas que van a ocupar el edificio, existen ratas metabólicas para estimar en unidades energéticas cuánto calor genera la gente, teniendo variables como sexo, rangos de edad, vestimenta, entre otros. También, los equipos generan calor, tales como computadores, servidores, los cuales deben ser estimados. La iluminación produce calor, por lo tanto, se deben evaluar el tipo de luminarias, si son LED o incandescentes, el número y disposición. Los servicios de catering también deben ser tenidos en cuenta así como los equipos de ventilación y refrigeración mecánica.

#### **1.8.2.10 Evaluación del uso de energía para equipos hvac, ventiladores y bombas, equipos de humidificación y estimación de factores de manejo**

Se deben hacer estimaciones para calcular el consumo energético producto de estos sistemas, plantillas del ASHRAE y del CIBSE ofrecen métodos para su estimación. Los programas de simulación traen incorporados, del mismo modo, plantillas de uso promedio. Para el caso de factores de manejo, se debe hallar un factor para adicionarlo al total del consumo, puesto que los edificios requieren para su funcionamiento cierta cantidad de energía como: sistemas de monitoreo, alarmas, sistemas de comunicación.

#### **1.8.3 Evaluación post ocupación**

Es de mucha importancia y contribuye a una buena praxis la evaluación post ocupación mediante simulación WBEM, no con el fin de convertirse en un método para hallar culpables sino para que

los estimadores y profesionales de simulación calibren sus modelos y encuentren las razones de las diferencias entre las simulaciones y los datos reales de operación.

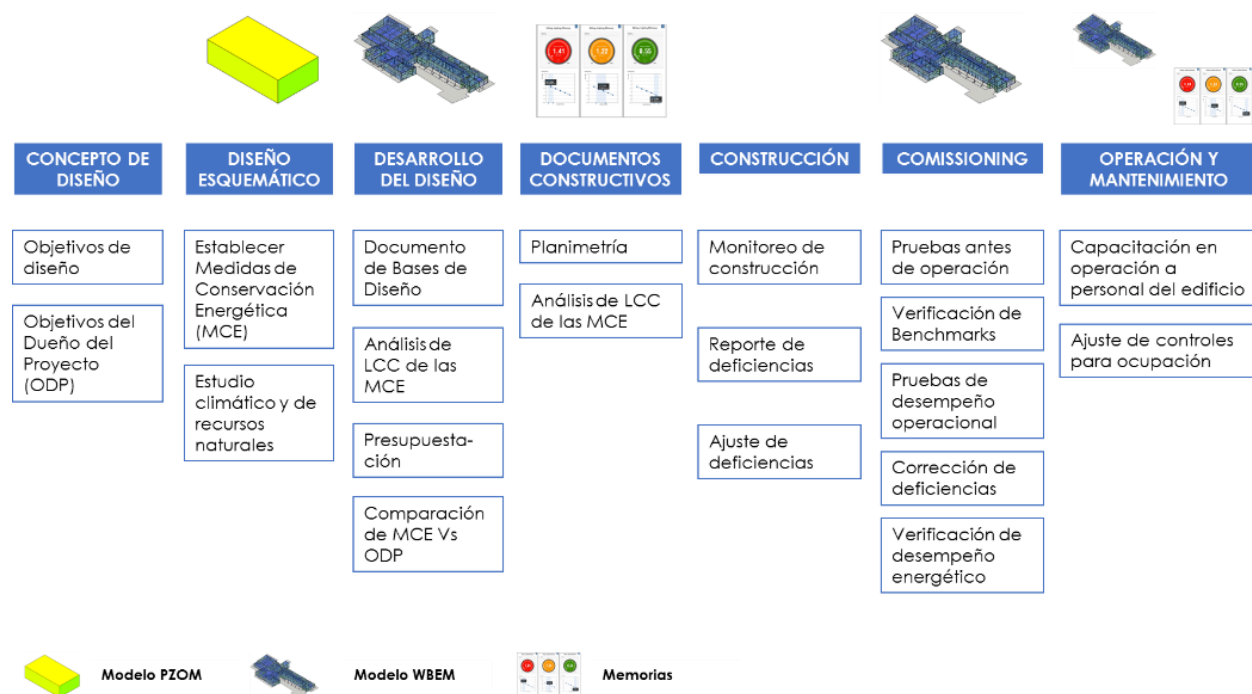


Figura 12. Esquema de fases de diseño y uso de modelación energética por metodologías.

Fuente adaptación AEDG Medium Office Buildings ASHRAE.

## **2 Marco metodológico**

### **2.1 Metodología**

El propósito de la investigación es realizar una serie de simulaciones energéticas para un caso de estudio teórico escogido. Además de dar una descripción acerca los componentes que involucran este tipo de procesos en cuanto a metodologías y tipos de modelaciones. A continuación se describen los pasos tomados.

- Elección de caso de estudio basado en criterios de factibilidad en cuanto a un posible desarrollo.
- Elaborar una colección de datos acerca de los componentes de diseño del caso de estudio.
- Elección de software para simulaciones, basada en conceptos como facilidad manejo, interfaz amigable, disponibilidad en el mercado, reconocimiento por organismos internacionales, recomendación por profesionales usuarios del programa.
- Elaboración de matriz de simulaciones a ejecutar para PZOM y WBEM.
- Aproximación al diseño del caso de estudio escogido y elaboración de propuesta.
- Ejecución de simulaciones por series: PZOM serie 1 iteración de componentes generales como orientación, aberturas, geometrías, entre otros. PZOM Serie 2, se elaboran modelos representativos para cada espacio primario con características escogidas en serie 1. WBEM, se elaboran modelos para cada espacio primario.
- Comparación de resultados entre PZOM serie 2 y WBEM mediante matriz de lectura de resultados.
- Redacción de conclusiones.

### **2.1.1 Alcance y limitaciones**

Para el caso en particular, se utiliza el mismo programa, DesignBuilder 4.5 para las simulaciones de ambas metodologías PZOM y WBEM, no obstante, los resultados no han de ser iguales y requieren de una comparación mediante tablas y gráficos para analizar si existen diferencias marcadas y sus posibles causas. De acuerdo a que la metodología PZOM es eficiente en una etapa temprana de diseño, según ASHRAE, se busca tener unos criterios lo más similar posible para que al final, cuando se comparen los datos de las dos metodologías, no se encuentren diferencias marcadas. Por lo tanto se ejecutarán las simulaciones bajo una base común:

- Las mismas plantillas para perfiles de ocupación y uso
- Las mismas plantillas para especificación de grosor de muros y grosor de áticos
- Las mismas condiciones de simulación, o lo más cercanas posible, en cuanto a tiempo, datos horarios, motor y algoritmos de cálculo.

Las simulaciones que se llevaran a cabo corresponden a la categoría de modelación térmica, otros valores como consumo energético no serán evaluados. El caso de estudio es un proyecto teórico.

### **2.1.2 Configuración del computador**

Las simulaciones fueron ejecutadas con un computador de escritorio con procesador Intel® Core™ i7 – 2600K 3.40 GHz, 8.00 GB RAM, sistema operativo de 64 bits en plataforma Windows 10.



## 2.2 Caso de estudio

Para comprobar los alcances y resultados que arrojan cada metodología de simulación se ha escogido como caso de estudio un edificio institucional que tenga diferentes espacios o zonas que hagan pertinente la elaboración de modelos PZOM. Con este ejercicio se pretende encontrar las posibles diferencias entre los resultados que ambos métodos arrojarán y comparar los datos que se obtengan para ayudar a dar más comprensión acerca de los procesos de simulación energética que, como se ha mencionado anteriormente, vienen ganando fuerza en la industria de la construcción en un escenario actual cada vez se preocupa más por los asuntos concernientes a al cambio climático que experimentamos por el fenómeno de calentamiento global.

## 2.3 Descripción del caso de estudio

Se elige como caso de estudio un Centro de Bienestar Animal (CAB), debido, a la variedad de espacios con los que debe contar, donde cada uno tiene unos requerimientos específicos.

Este tipo de instalaciones debe contar con el siguiente programa arquitectónico para su adecuado funcionamiento:

- **Perreras**
  - a. Perreras
  - b. Gateras
  - c. Zona de aseo general para gateras y perreras
  - d. Zona de aseo para animales en gateras y perreras
  - e. Zona de depósito para gateras y perreras
- **Clínica**
  - f. Consultorios
  - g. Farmacia

- h. Cuarto pre-quirúrgico
- i. Quirófano
- j. Hospitalización
- k. Depósito
- l. Sala de espera
- **Recepción / administración**

- m. Lobby de recepción
- n. Pet-shop
- o. Zona administrativa
- p. Zona para médicos
- q. Salones de capacitación

- **Zonas al aire libre**

- r. Zona de visitas de la comunidad (voluntariados)
- s. Zona verde para animales en custodia

## **2.4 Requerimientos de confort de un CAB**

Los espacios, teniendo en cuenta el clima de la ciudad de Bogotá, deben contar con un rango de confort que mitigue, con estrategias pasivas, el frío de la ciudad de emplazamiento, también se debe tener en cuenta, según estudio climático, que son frecuentes picos elevados de temperatura alrededor de las horas del mediodía, por lo tanto, es crucial el análisis térmico del edificio para asegurar el confort.

Al interior de la edificación convivirán diferentes especies: felinos, caninos y humanos, cada uno con rangos de confort distintos.

<b>Especie</b>	<b>Temperatura Corporal en °C</b>	<b>Temperatura de Confort en °C</b>
Felinos	37.7 - 38.8	10.0 - 26.0
Caninos	38.5 - 39.5	7.0 - 26.0
Humanos	36 - 37	19.5-24.5

*Tabla 3. Rangos de temperatura.*

*Fuente Birchard / Sherding Manual Clínico de Pequeñas Especies.*

Según se observa en la Tabla 1, los rangos de temperatura comparados con los humanos varían en aproximadamente 1°C, lo que indica que los espacios deben ser ligeramente más cálidos para que el metabolismo de las mascotas pueda mantener la temperatura sin consumir tanta energía y de la misma manera, temperaturas muy elevadas pueden generar shock térmico entendiendo que estas especies no sudan, por lo tanto, la disipación de calor es más compleja. Es importante tener en cuenta que las diferentes razas y edades tienen condiciones de confort diferentes (USDA/APHIS, 2013, p. 2).

## **2.5 Datos climáticos del lugar de emplazamiento**

El lugar de emplazamiento de la propuesta teórica del edificio es en la ciudad de Bogotá DC (COL), con coordenadas de ubicación 4°35'56"N 74°04'51"O y altitud 2547 m. El archivo climático a utilizar para las simulaciones energéticas es de extensión .epw obtenido en el sitio web del software EnergyPlus, fecha 09-ene-2017. Link de descarga:

[https://energyplus.net/weatheregion/south\\_america\\_wmo\\_region\\_3/COL%20%20](https://energyplus.net/weatheregion/south_america_wmo_region_3/COL%20%20). La

información de climatológica para el análisis es obtenida del Atlas Climático de Colombia fuente IDEAM de una estación meteorológica con lectura de datos de un mínimo de diez años.

### 2.5.1 Temperatura de bulbo seco

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. Bulbo Seco °C	13.3	13.7	13.9	14.1	14.1	13.9	13.5	13.6	13.5	13.5	13.6	13.4	13.7
Humedad Relativa %	79	79	81	82	82	79	78	77	79	83	83	81	80

Tabla 4. Promedio temperatura del aire (°C) humedad relativa (%) de Bogotá.

Fuente IDEAM.

Otros datos de análisis climáticos se encuentran en el Anexo A.

### 2.6 Análisis del terreno

La elección del sitio de emplazamiento es crucial para el funcionamiento del proyecto. Las características a tener en cuenta están divididas en dos grandes componentes: entorno-ambiental y estratégico. Es importante mencionar que el análisis siguiente está basado en la implementación de estrategias pasivas.



Figura 13. Sitio de emplazamiento.

Fuente propia (2017)

El lugar de emplazamiento cuenta con ciclorutas próximas por la Av. NQS y por la Av Calle 13. Cuenta con rutas de SITP y Transmilenio. Es un lugar cercano a zonas de tolerancia, sin embargo cuenta con establecimientos comerciales alrededor los cuales ayudan a brindar seguridad a los peatones. Al frente del lugar está ubicado y para ambas calzadas se encuentra un paradero del SITP. Es recomendable que los horarios de visitas y voluntariado estén sincronizados con los horarios de los de apertura de los establecimientos comerciales.

Principales rutas de SITP: 13; C1, C7, C135

Paraderos: Br La Favorita AC 19 – KR 18

## 2.6.1 Componente entorno-ambiental

- Recursos: el lugar cuenta con recursos solares para propiciar ganancias de calor, iluminación natural en incluso generación de energía solar siempre y cuando se adopte este sistema, ventilación natural para generar enfriamiento en las temporadas de calor.

### 2.6.1.1 Geometría solar

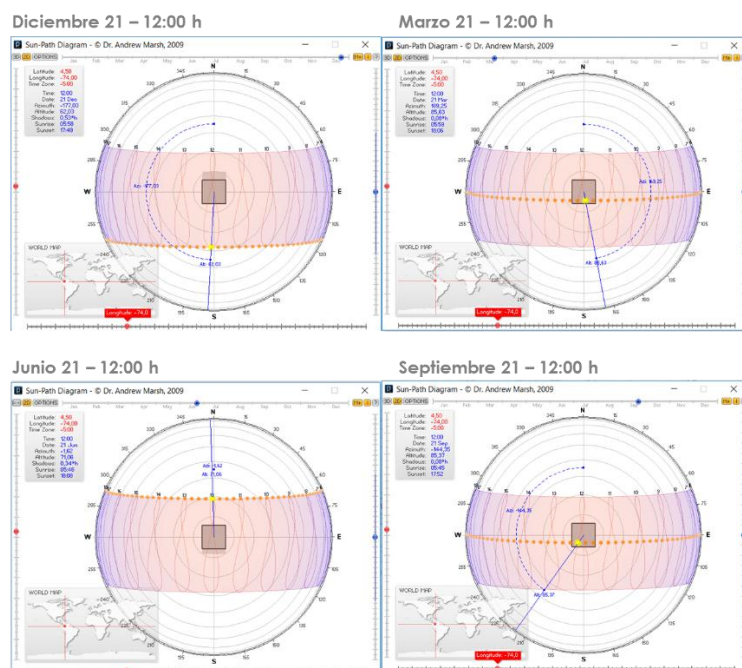


Figura 14. Diagrama solar para Bogotá. Fuente <http://andrewmarsh.com/>. (Marsh, Andrew)

La condición de ubicación en el trópico permite recibir radiación solar durante todo el año a un ritmo constante, especialmente sobre las cubiertas de las edificaciones, se observa una distribución solar en las cuatro fachadas durante todo el año. Los factores de radiación se ven comprometidos con porcentajes de nubosidad alta.

### 2.6.1.2 Estudio de sombras

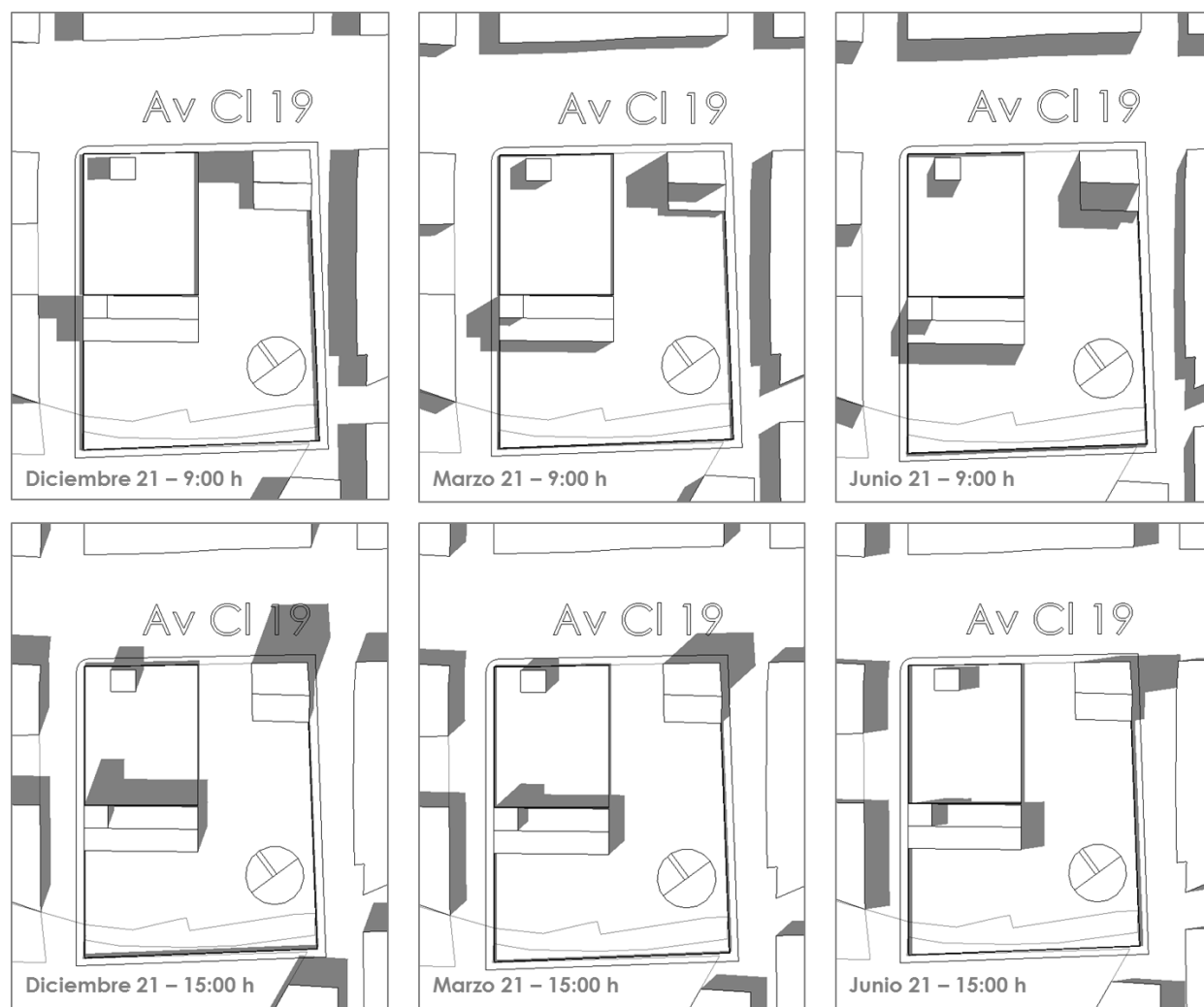


Figura 15. Estudio de sombras para terreno.

Fuente propia (2017), elaborado con Revit 2017.

Se observa, que en las condiciones actuales no existen obstrucciones importantes que generen exceso de sombra en el predio a proyectar el CAB.

### 2.6.1.3 Radiación Solar

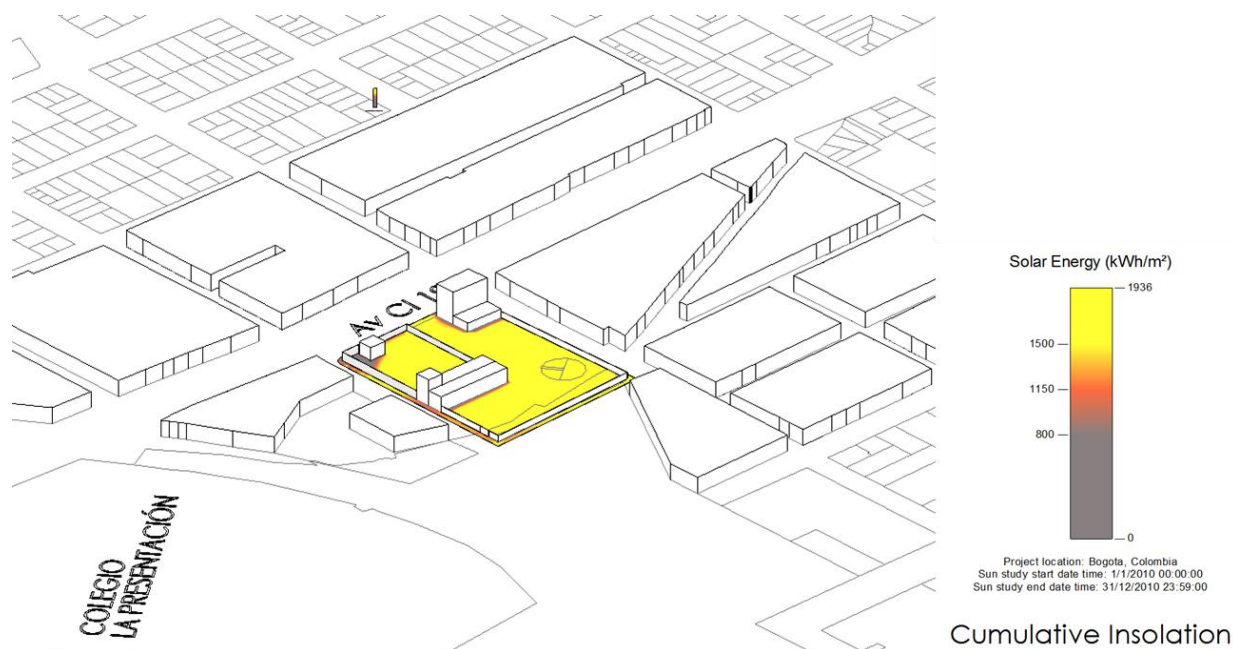


Figura 16. Diagrama para energía solar acumulada.

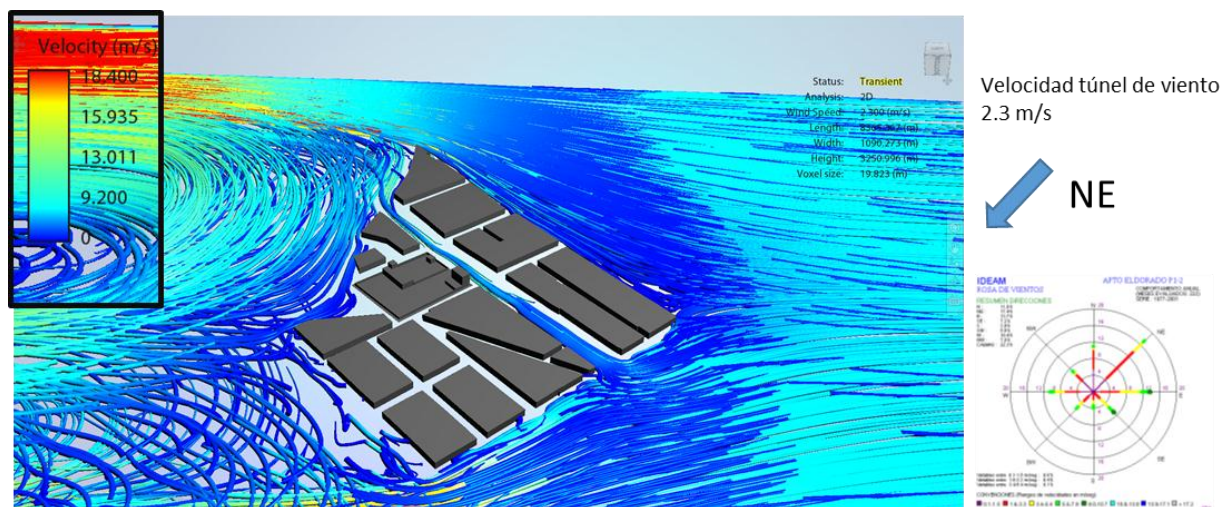
Fuente propia (2017), elaborado con Revit 2017.

Se observa un patrón elevado radiación acumulada, consecuente con la ubicación en el trópico del lugar. Se observa un gran recurso solar para ganancias de calor al interior de la edificación a proponer.

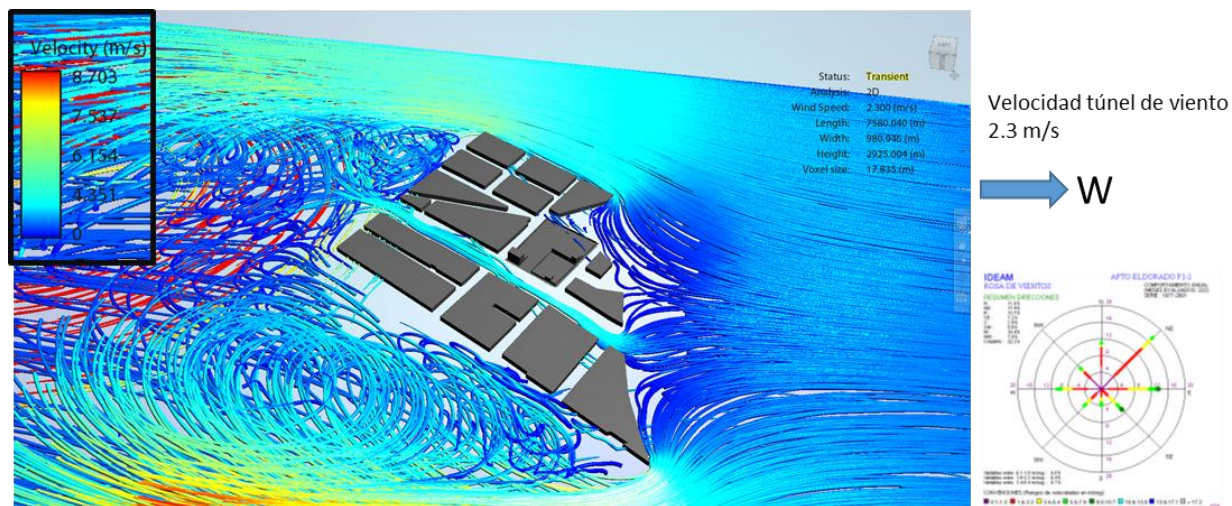
### 2.6.1.4 Patrón de vientos

De acuerdo a análisis de vientos en Anexo A, se observa que el lugar presenta poca resistencia a los vientos al no encontrarse estructuras que actúen como cortavientos, se propone generar barreras de viento mediante árboles y geometría del diseño.





*Figura 17. Túnel de viento dirección del viento NE.*



*Figura 18. Túnel de viento dirección del viento W.*

Se observa un patrón dominante de viento en la calle 19, se debe pensar en proporcionar una fachada que genere un sistema de cortavientos pero que al mismo tiempo permita la continuidad visual, se podría pensar en cercas vivas las cuales apuntalan el objetivo de que este tipo de establecimientos sea abierto a la ciudad.



### **2.6.2 Componente estratégico**

- a. Lugar en zona comercial. El lugar ideal para las instalaciones que van a proyectarse dentro de la ciudad deben ser ubicadas en zonas comerciales porque facilitan la visita de la comunidad; zonas residenciales pueden verse afectadas por el ruido de los animales, impacto psicológico; zonas industriales pueden no ser propicias por la calidad del aire y por ser lugares que característicamente son solos y peligrosos, característica que iría en contra de las visitas que la comunidad pueda realizar a los animales, se debe recordar que este tipo de instalaciones proponen programas de voluntariado para cuidar a las mascotas y un lugar que no brinda seguridad haría que se el proyecto se aísle de la sociedad.
- b. El lote de emplazamiento debe ser apto para incluir zonas verdes con arborización, las cuales son necesarias para el bienestar de los animales y para minimizar el impacto que genera el cautiverio.

### 3 Desarrollo del tema

#### 3.1 Simulaciones energéticas

DesignBuilder v-4.5 es el software propuesto para las simulaciones del CAB. Se elaboró una matriz de simulaciones para elaborar un inventario de las mismas, debido a que este tipo de procesos es iterativo y por lo tanto una planeación es útil para canalizar los datos que arrojará el programa. El objetivo es comparar las dos metodologías para observar que tan distantes son los resultados de cada una. Se debe recordar que los modelos energéticos no deben ser tomados como predicciones exactas. De lo anterior se deduce que las simulaciones no predicen el comportamiento del edificio (CIBSE). Con estas simulaciones se planea evaluar la materialidad, la orientación, la composición del edificio y la zonificación para concretar el diseño arquitectónico.

Se diseñaron dos series de simulaciones, con base en los protocolos definidos por el ASHRAE para evaluar el posible desempeño que pueda llegar a tener el edificio, los dos se ven a continuación en los capítulos siguientes.

#### 3.2 Procedimiento

Espacios Principales del CAB	Descripción
Perreras y gateras	Zonas donde se disponen las camas de caninos y felinos
Quirófano	Zona donde se practican procedimientos quirúrgicos
Clínica	Zona donde se administran los servicios de salud a los animales
Administración y Recepción	Zona para el personal a cargo y para atención a público y visitantes

*Tabla 5. Inventario de espacios principales del CAB con su respectiva descripción.*

*Fuente propia (2017).*

- I. Modelación de una zona representativa general del CAB para cada una de las siguientes variables: orientación, acristalamiento, materialidad, tipología de cubierta,

materialidad de cubierta, diseño de cubierta, corta soles, todavía no se elabora modelo para cada uno de los espacios principales. Simulación y revisión de resultados.

- II. Elaboración de modelos para cada espacio principal (tabla 4). El resultado de modelado es un prototipo virtual ajustado, basado en la elección de las mejores variables obtenidas en punto I. Simulación y revisión de resultados.
- III. Creación de modelos bajo metodología WBEM para cada espacio principal. Simulación y revisión de resultados.
- IV. Comparación de resultados de metodología PZOM y WBEM, análisis y conclusiones.

### 3.3 Simulación general PZOM serie 1

#### 3.3.1 Metodología

Se elaboran modelos para siete variables de diseño: (orientación, aberturas, material de cubierta, diseño de cubierta, tipología de cubierta, material de envolvente, cortasoles), como instancia previa a la elaboración de modelos PZOM específicos para cada espacio primario. Con estas simulaciones se busca comprender y analizar el fenómeno termodinámico en diferentes variables para ajustar los parámetros de diseño teórico del CAB

La matriz completa de esta simulación se puede encontrar en el apéndice C.

#### 3.3.2 Ficha técnica

**Objetivo de modelado:** Modelado para evaluación energética en cuanto a confort térmico del edificio y esquemas de clasificación (*bespoke modelling*).

**Requisitos:** objetivos de diseño establecidos – Requisitos del dueño del proyecto (Owner Project Requirements – OPR, por su sigla en inglés).

**Proceso:** Modelado de zona representativa, dimensiones 4.00 x 6.00 m

##### 3.3.2.1 Memoria de simulación

*Activity Template:* ASHRAE 62.1 – Retail – Pet shop (animal área)

*Metabolic Rate:* 1 – 2 met

*Clothing:* 1 clo

Activity Scheduled: horarios según espacio primario.

Target illuminance: 300 lux

Output Intervals for Reporting: Monthly and annual, daily, hourly

Simulation Period: annual, summer design week (19 abr – 25 abr), Winter design week (6 oct – 12 oct).

Geometry convention template: External measurements

Fixed Surface thickness: para Ground Floor y Basement Ground Floor ajustado a 0.0

Surface Convection: algorithm for simulation 6-TARP y 6-DOE-2

### 3.3.3 Resultados

A continuación se muestran las imágenes de los modelos y los resultados tabulados.

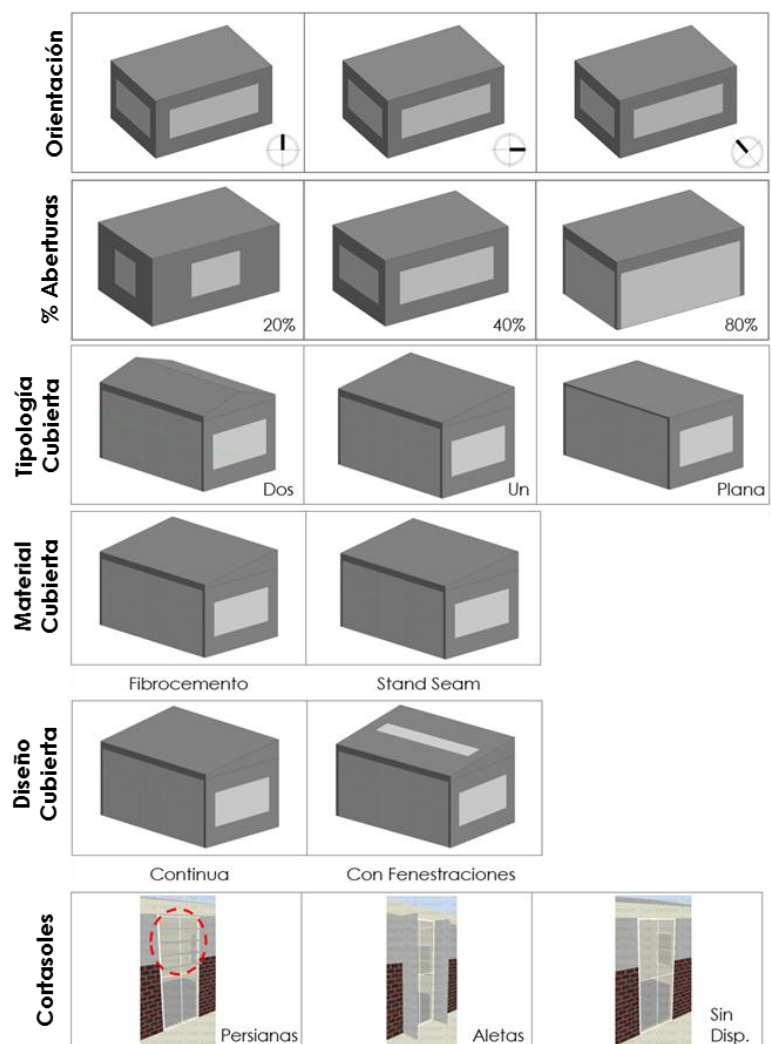


Figura 19. Modelos representativos de cada variable de diseño.

Fuente propia (2017)

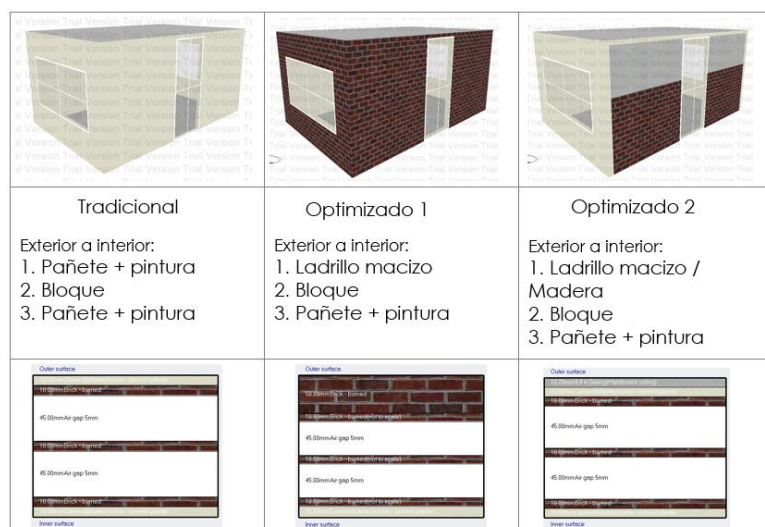


Figura 20. Modelos representativos para materialidad.

Fuente propia (2017).

Orientación	Promedio (°C)	Mediana (°C)	Desviación Est. (°C)	Máxima (°C)	Mínima (°C)	<19.35°C (h)	>24.35°C (h)	Confort (h)
NS	18.39	17.12	5.77	36.78	8.44	5,306.00	1,549.00	1,905.00
EW	18.26	17.00	5.68	36.54	8.44	5,352.00	1,472.00	1,936.00
36.3°	18.33	17.09	5.71	36.05	8.44	5,325.00	1,493.00	1,942.00
<b>Acristalamiento</b>								
20 Por ciento	17.50	16.35	5.23	34.45	8.04	5,676.00	1,042.00	2,042.00
40 Por ciento	17.75	16.41	5.73	35.69	7.59	5,545.00	1,347.00	1,868.00
80 Por ciento	17.73	16.23	6.27	37.25	6.42	5,488.00	1,535.00	1,737.00
<b>Materialidad</b>								
Tradicional	17.55	16.36	5.37	34.86	7.93	5,639.00	1,141.00	1,980.00
Opt. 1	17.57	16.37	5.39	34.92	7.91	5,634.00	1,154.00	1,972.00
Opt. 2	17.61	16.51	5.17	34.61	8.35	5,661.00	1,039.00	2,060.00
<b>Tipo Cubierta</b>								
Plana	17.76	16.76	4.98	34.00	8.79	5,585.00	1,004.00	2,171.00
Un Agua	18.38	16.97	5.89	36.83	8.00	5,256.00	1,638.00	1,866.00
Dos Aguas	18.45	17.01	5.93	36.70	8.02	5,225.00	1,687.00	1,848.00
<b>Mat. Cubierta</b>								
Fibrocemento	18.38	16.95	5.89	36.82	8.00	5,259.00	1,640.00	1,861.00
Stand Seam	19.00	17.94	5.10	34.07	9.94	4,967.00	1,548.00	2,245.00
<b>Diseño Cubierta</b>								
Continua	19.00	17.94	5.11	34.04	9.94	4,966.00	1,552.00	2,242.00
Lucernario	20.01	18.51	6.17	38.83	9.89	4,669.00	2,190.00	1,901.00
<b>Cortasoles</b>								
Persianas Ext.	18.84	17.82	4.94	33.48	9.95	5,036.00	1,413.00	2,311.00
Aletas Ext.	18.80	17.79	4.88	33.29	9.98	5,055.00	1,371.00	2,334.00
Sin Dispositivos	19.14	18.03	5.23	34.30	9.99	4,924.00	1,651.00	2,185.00

Tabla 6. Resultados generales para simulación anual horaria (8760 h).

Fuente propia (2017).

Datos con mejor desempeño resaltados en azul.

Se marcan las mejores métricas para cada variable en color azul para facilitar la lectura. Los valores que se persiguen no siempre son los más altos, en el caso de promedio y mediana se buscan los máximos; para desviación estándar el mínimo; para máxima el mínimo; para mínima el máximo; para rangos de confort los mínimos y para horas de confort los máximos. La elección de variables, como se observa, no depende de un único dato, sino, del análisis global de diferentes resultados por categoría.

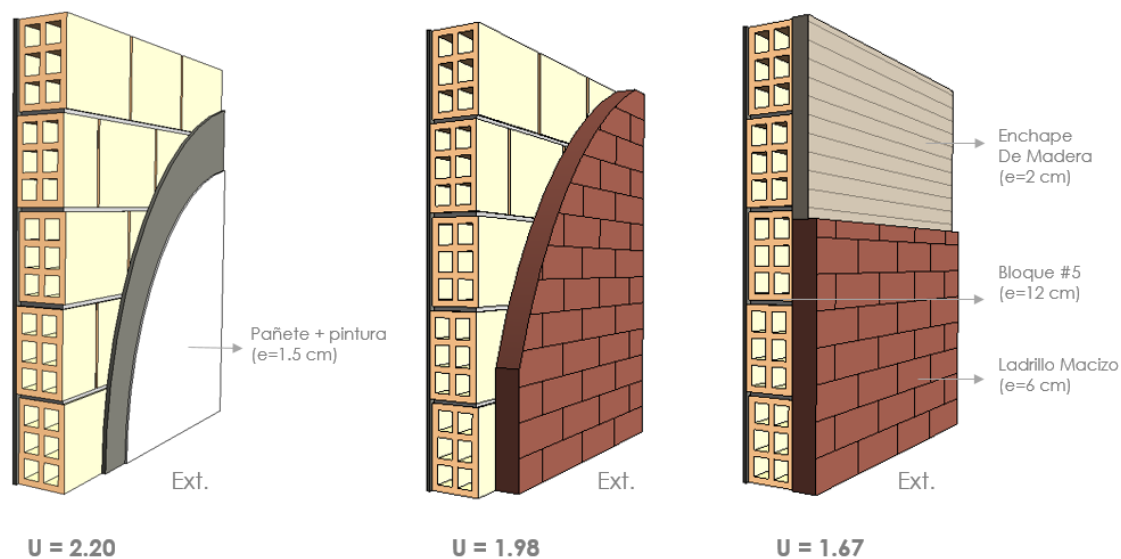


Figura 21. Materiales analizados para muros.

Fuente propia (2017), elaborado en Revit 2017

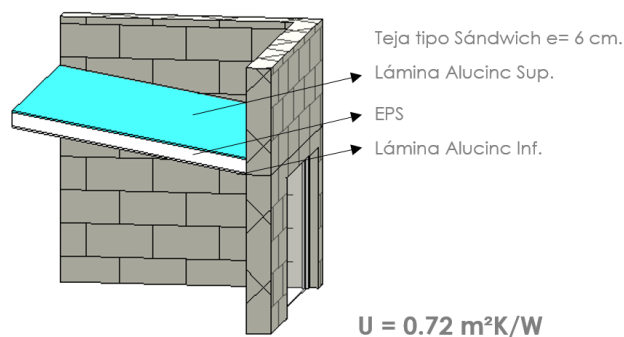


Figura 22. Material de cubierta tipo sándwich.

Fuente propia (2017), elaborado en Revit 2017.

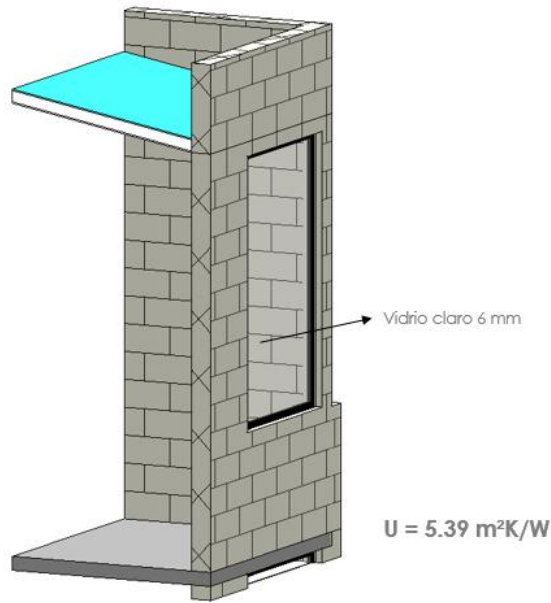


Figura 23. Especificaciones de vidrio.

Fuente propia (2017), elaborado en Revit 2017.

### 3.3.3.1 Cálculo de resultados

Para tabular los resultados arrojados por las simulaciones se hicieron operaciones estadísticas para hallar los siguientes datos:

- **Promedio (media):** se calcula para temperatura operativa horaria anual en hoja de cálculo de Excel con formula = PROMEDIO
- **Desviación estándar:** se calcula para temperatura operativa horaria anual en hoja de cálculo de Excel con formula =DESVEST
- **Mediana:** se calcula para temperatura operativa horaria anual en hoja de cálculo de Excel con formula =MEDIANA
- **Temperatura máxima:** se calcula para temperatura operativa horaria anual en hoja de cálculo de Excel con formula =MAX



- **Temperatura mínima:** se calcula para temperatura operativa horaria anual en hoja de cálculo de Excel con formula =MIN
- **Horas por debajo del rango de confort <20.3:** se calcula para temperatura operativa horaria anual en hoja de cálculo de Excel con formula =CONTAR.SI(rango; "<20.3")
- **Horas por encima del rango de confort <24.3:** se calcula para temperatura operativa horaria anual en hoja de cálculo de Excel con formula =CONTAR.SI(rango; ">24.3")

### 3.3.3.2 Visualización de resultados

Con los resultados arrojados por las simulaciones de la serie 1 se espera concluir qué variables de diseño ostentan un mejor desempeño que puedan generar un diseño teórico para el CAB. Se realizó un modelo PZOM para variables generales como orientación, materialidad, geometría. También se desarrolló una matriz de visualización y ponderación de resultados en Excel para facilitar la lectura de resultados y toma de decisiones la cual se explica en la figura 15.

Modelo		Cortasoles	
Metodología		PZOM	
Listado de Prioridades		Modelo con Mejor Desempeño	Puntuación
a	Mediana más alta de temperatura operativa	2	
b	Desviación estándar más baja	1	
c	Temperatura más baja de temperatura máxima	1	
d	Temperatura más alta de temperatura mínima	1	
e	Menor número de temp. <20.3°C	1	
f	Menor número de temp. >24.3°C	1	
g	Mayor número de horas de confort	2	
h	Regularización de diseño (factor económico)	2	

Cuadro informativo.

Listado de prioridades a tener en cuenta para el diseño.

Ponderación asignada en unidades a cada prioridad.

Se coloca en la derecha el modelo que obtuvo el mejor desempeño según prioridad.

Se enumeran los modelos y se suma los puntos que obtuvieron para calcular el total.

Figura 24. Explicación de matriz de resultados.

Fuente propia (2017).

Modelo			Orientación	
Metodología			PZOM	
Listado de Prioridades		Modelo con Mejor Desempeño	Puntuación	
a	Mediana más alta de temperatura operativa	2 NS	NS	4
b	Desviación estándar más baja	1 EW	EW	3
c	Temperatura más baja de temperatura máxima	1 36.3°	36.3°	6
d	Temperatura más alta de temperatura mínima	1 Igual en todos los modelos		
e	Menor número de temp. <20.3°C	1 NS		
f	Menor número de temp. >24.3°C	1 EW		
g	Mayor número de horas de confort	2 36.3°		
h	Regularización de diseño (factor económico)	2 36.3°		

Tabla 7. Matriz de resultados para modelo PZOM de Orientación.

Fuente propia (2017).

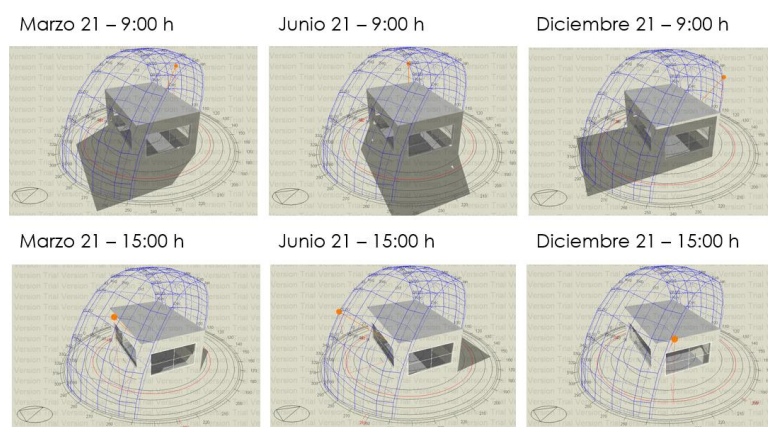


Figura 25. Estereometría para modelo con orientación 36.3°.

Fuente propia (2017).

Se puede apreciar que la orientación NS y la orientación 36.3° presentan las mejores métricas, no obstante, de acuerdo a la ponderación de prioridades se puede observar que la orientación 36.3° combina parámetros energéticos y económicos. La interpretación puede variar en factor de las prioridades

Modelo			Acristalamiento		
Metodología			PZOM		
Listado de Prioridades			Modelo con Mejor Desempeño		Puntuación
a	Mediana más alta de temperatura operativa	2	40%	20%	6
b	Desviación estándar más baja	1	20%	40%	4
c	Temperatura más baja de temperatura máxima	1	20%	80%	1
d	Temperatura más alta de temperatura mínima	1	20%		
e	Menor número de temp. <20.3°C	1	80%		
f	Menor número de temp. >24.3°C	1	20%		
g	Mayor número de horas de confort	2	20%		
h	Regularización de diseño (factor económico)	2	40%		

Tabla 8. Matriz de resultados para modelo PZOM de Aberturas.

Fuente propia (2017).

Se observa que las mejores métricas las tienen los modelos 20% y 40%, pese a que 20% tiene mayor puntaje, hay que tener en cuenta que es un modelo más compacto por lo tanto podría conservar más el calor, no obstante, otros factores pueden no ser beneficiosos como menor iluminación natural. También cabe destacar, que el modelo 40% tuvo el mejor puntaje para Mediana más alta de temperatura operativa, un factor de alta prioridad. El modelo de 80% puede presentar problemas en cuanto a mayor superficie para pérdida de calor por vidrios.

<b>Modelo</b>		Material de Envolvente			
<b>Metodología</b>		PZOM			
<b>Listado de Prioridades</b>		<b>Modelo con Mejor Desempeño</b>		<b>Puntuación</b>	
<b>a</b>	Mediana más alta de temperatura operativa	2	Optimizado 2	Tradicional	0
<b>b</b>	Desviación estándar más baja	1	Optimizado 2	Optimizado 1	3
<b>c</b>	Temperatura más baja de temperatura máxima	1	Optimizado 2	Optimizado 2	8
<b>d</b>	Temperatura más alta de temperatura mínima	1	Optimizado 2		
<b>e</b>	Menor número de temp. <20.3°C	1	Optimizado 1		
<b>f</b>	Menor número de temp. >24.3°C	1	Optimizado 2		
<b>g</b>	Mayor número de horas de confort	2	Optimizado 2		
<b>h</b>	Regularización de diseño (factor económico)	2	Optimizado 1		

Tabla 9. Matriz para modelo PZOM de Material de envolvente.

Fuente propia (2017).

La configuración Opt. 2 presenta un buen desempeño, no obstante, el listado de prioridades establece que el factor económico es importante. Se deben evaluar aspectos de presupuesto vs temas de confort, sin embargo, el material optimizado 1 tiene mejor desempeño que la configuración tradicional. Se puede pensar en tener una mejor envolvente en las perreras mediante un Opt. 2 y otros edificios del CBA con Opt. 1.

<b>Modelo</b>		Tipo de Cubierta			
<b>Metodología</b>		PZOM			
<b>Listado de Prioridades</b>		<b>Modelo con Mejor Desempeño</b>		<b>Puntuación</b>	
<b>a</b>	Mediana más alta de temperatura operativa	2	Dos aguas	Plana	4
<b>b</b>	Desviación estándar más baja	1	Plana	Un agua	2
<b>c</b>	Temperatura más baja de temperatura máxima	1	Plana	Dos aguas	5
<b>d</b>	Temperatura más alta de temperatura mínima	1	Plana		
<b>e</b>	Menor número de temp. <20.3°C	1	Dos aguas		
<b>f</b>	Menor número de temp. >24.3°C	1	Plana		
<b>g</b>	Mayor número de horas de confort	2	Un agua		
<b>h</b>	Regularización de diseño (factor económico)	2	Dos aguas		

Tabla 10. Matriz para PZOM de tipo de cubierta.

Fuente propia (2017).

Los tipos de cubierta plana y a dos aguas presentan los mejores desempeños, Se observa que la cubierta a dos aguas tiene métricas superiores frente a mantener un espacio más cálido.

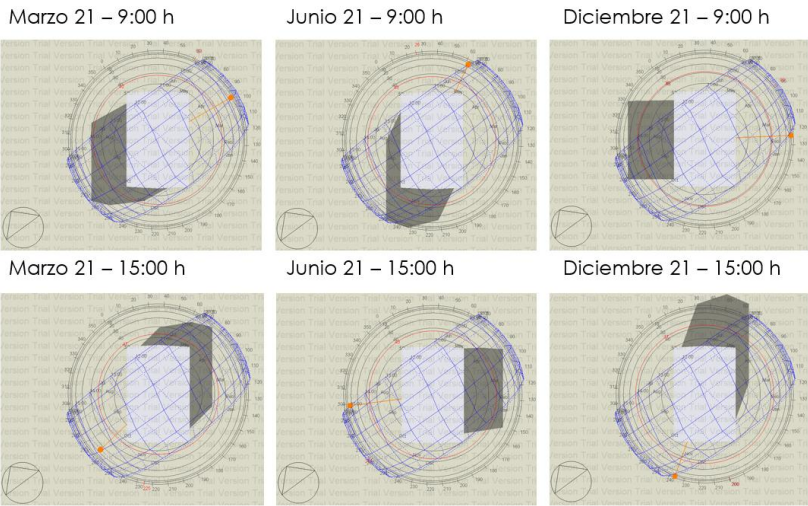


Figura 26. Estereometría para modelo cubierta dos aguas.

Fuente propia (2017).

Modelo		Material de Cubierta		
Metodología		PZOM		
Listado de Prioridades		Modelo con Mejor Desempeño	Puntuación	
a	Mediana más alta de temperatura operativa	2 Stand Seam (Alucinc + EPS)	Fibrocemento	0
b	Desviación estándar más baja	1 Stand Seam (Alucinc + EPS)	Stand Seam	11
c	Temperatura más baja de temperatura máxima	1 Stand Seam (Alucinc + EPS)		
d	Temperatura más alta de temperatura mínima	1 Stand Seam (Alucinc + EPS)		
e	Menor número de temp. <20.3°C	1 Stand Seam (Alucinc + EPS)		
f	Menor número de temp. >24.3°C	1 Stand Seam (Alucinc + EPS)		
g	Mayor número de horas de confort	2 Stand Seam (Alucinc + EPS)		
h	Regularización de diseño (factor económico)	2 Stand Seam (Alucinc + EPS)		

Tabla 11. Matriz PZOM de material de cubierta.

Fuente propia (2017).

Se observa un mejor desempeño de la teja Stand Seam (sándwich) frente a las otras soluciones.

Modelo		Diseño de Cubierta		
Metodología		PZOM		
Listado de Prioridades		Modelo con Mejor Desempeño	Puntuación	
a	Mediana más alta de temperatura operativa	2 Lucernario	Continúa	6
b	Desviación estándar más baja	1 Continúa	Lucernario	5
c	Temperatura más baja de temperatura máxima	1 Continúa		
d	Temperatura más alta de temperatura mínima	1 Continúa		
e	Menor número de temp. <20.3°C	1 Lucernario		
f	Menor número de temp. >24.3°C	1 Continúa		
g	Mayor número de horas de confort	2 Continúa		
h	Regularización de diseño (factor económico)	2 Lucernario		

Tabla 12. Matriz PZOM de diseño de cubierta.

Fuente propia (2017).

Se observa que Ambos modelos presentan métricas similares, se deben evaluar qué aspectos positivos presentan cada uno para optar por una decisión.

Modelo		Cortasoles	
Metodología		PZOM	
Listado de Prioridades		Modelo con Mejor Desempeño	Puntuación
a	Mediana más alta de temperatura operativa	2 No dispositivos	Persianas ext. 4
b	Desviación estándar más baja	1 Persianas ext.	Aletas ext. 4
c	Temperatura más baja de temperatura máxima	1 Aletas ext.	No dispositivc 3
d	Temperatura más alta de temperatura mínima	1 No dispositivos	
e	Menor número de temp. <20.3°C	1 Persianas ext.	
f	Menor número de temp. >24.3°C	1 Aletas ext.	
g	Mayor número de horas de confort	2 Aletas ext.	
h	Regularización de diseño (factor económico)	2 Persianas ext.	

Tabla 13. Matriz PZOM de diseño de cortasoles.

Fuente propia (2017).

Se observa que tanto persianas como aletas verticales ayudan a optimizar energéticamente el edificio, probablemente la instalación de persianas exteriores sea más económica

### 3.4 Simulación PZOM serie 2 y WBEM

Con esta serie de simulaciones, se crean los modelos PZOM para cada espacio principal, con ajustes de diseño obtenidos a partir de primera serie PZOM, luego se elaboran los modelos WBEM basados en la segunda serie de simulaciones PZOM.

#### 3.4.1 Ficha técnica

**Objetivo de modelado:** Modelado para evaluación energética del edificio y esquemas de clasificación (*bespoke modelling*).

**Requisitos:** *Perimeter Zone Optimization Method* completado, fase de diseño esquemático completada.

**Proceso:** Modelado arquitectónico de todas las zonas térmicas del edificio.

##### 3.4.1.1 Memoria de simulación

La misma utilizada en PZOM serie 1.

### 3.4.2 Comparación de resultados PZOM vs WBEM

A continuación se compararán los resultados arrojados por las simulaciones PZOM serie 2 y WBEM para cada espacio principal del CAB, mediante imágenes, tablas y gráficos para observar las diferencias entre las dos metodologías escogidas. Los procedimientos para cálculo de resultados se pueden ver en el apartado 3.3.3.1. Se elige calcular datos estadísticos como mediana y desviación estándar con el fin de tener más criterios al momento de tabular los resultados y analizarlos.

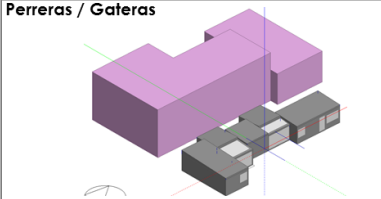
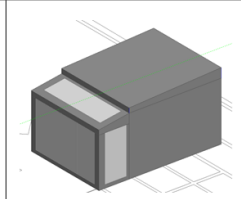
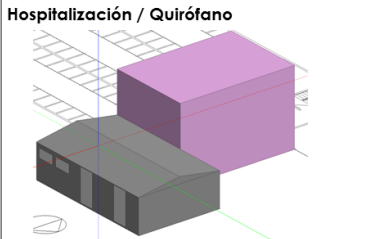
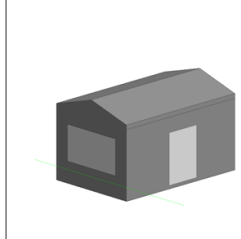
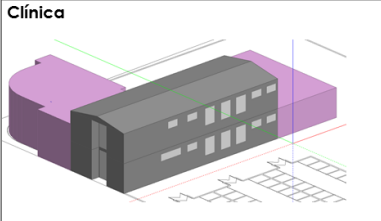
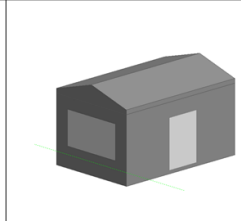
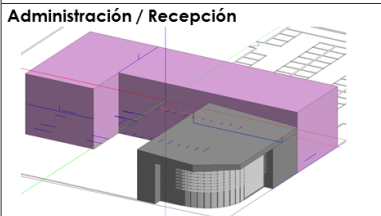
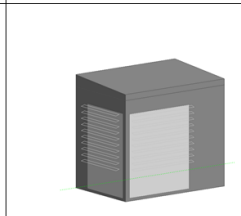
WBEM	PZOM-s2
<b>Perreras / Gateras</b> 	
<b>Hospitalización / Quirófano</b> 	
<b>Clínica</b> 	
<b>Administración / Recepción</b> 	

Figura 27. Modelos energéticos para WBEM y PZOM serie 2. Programa DesignBuilder.

Fuente propia (2017).

Espacio Primario	Promedio (°C)	Mediana (°C)	Desviación Est. (°C)	Máxima (°C)	Mínima (°C)	<19.35°C (h)	>25.35°C (h)	Confort (h)
Perreras / gateras (PZOM)	19.97	19.91	1.52	24.73	15.80	3,151.00	-	5,609.00
Perreras / gateras (WBEM)	20.08	20.05	1.25	23.18	16.50	4,971.00	-	3,789.00
<b>Diferencia</b>	- 0.11	- 0.14	- 0.27	- 1.55	- 0.70	1,820.00	-	1,820.00
Hospital Quirófano (PZOM)	18.85	18.18	4.16	29.21	11.24	5,065.00	735.00	2,960.00
Hospital Quirófano (WBEM)	18.40	17.87	3.13	26.82	12.55	5,387.00	22.00	3,351.00
<b>Diferencia</b>	0.45	0.32	1.04	2.39	- 1.32	- 322.00	713.00	391.00
Clínica (PZOM)	17.91	17.10	3.67	27.61	11.03	5,701.00	131.00	2,928.00
Clínica (WBEM)	18.75	18.59	1.96	24.44	14.15	5,453.00	-	3,307.00
<b>Diferencia</b>	0.84	1.49	- 1.71	- 3.17	3.11	- 248.00	- 131.00	379.00
Admon / Recepción (PZOM)	17.73	16.43	6.25	34.75	5.85	5,420.00	1,396.00	1,944.00
Admon / Recepción (WBEM)	18.14	17.75	4.22	28.83	9.97	5,399.00	350.00	3,011.00
<b>Diferencia</b>	- 0.41	1.32	2.03	5.92	- 4.12	21.00	1,046.00	1,067.00

Tabla 14. Cuadro comparativo de temperatura para PZOM-s2 y WBEM.

Fuente propia (2017).

Se observan los datos comparativos para temperatura operativa de cada uno de los espacios principales del CAB con cálculo de las diferencias entre las dos metodologías.

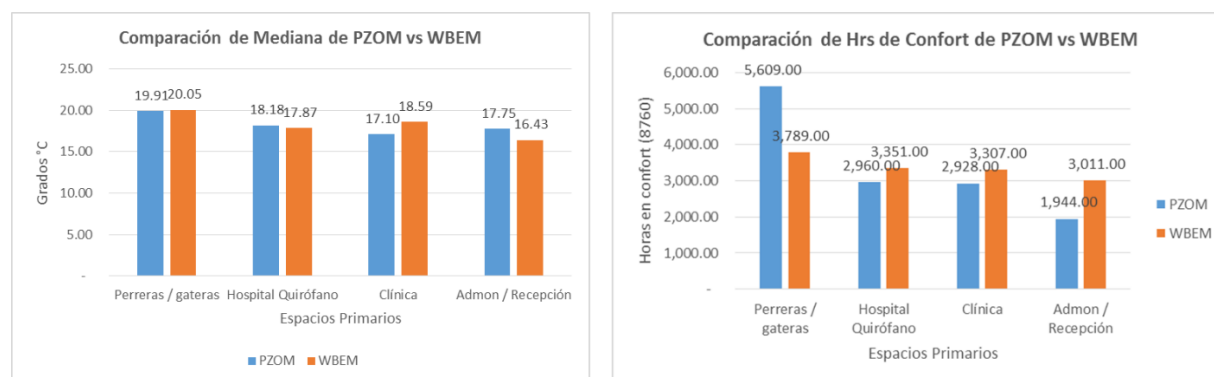


Figura 28. Comparación de medianas de temperatura y horas de confort.

Fuente propia (2017).

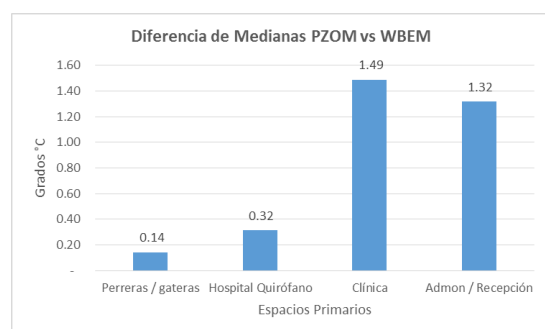


Figura 29. Diferencia (°C) de valores de medianas de PZOM y WBEM.

Fuente propia (2017).

Diferencia de Medianas	
Perreras / gateras	0.14
Hospital Quirófano	0.32
Clínica	1.49
Admon / Recepción	1.32
<b>Promedio</b>	<b>0.82</b>

Tabla 15. Diferencia ( $^{\circ}\text{C}$ ) de valores de medianas de PZOM y WBEM.

*Fuente propia (2017).*

A continuación se pueden observar tablas comparativas de temperaturas de acuerdo a los rangos de confort

Perreras PZOM																									
Mes / Hora		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	21.39	21.10	20.80	20.50	20.21	19.94	19.69	18.39	18.06	18.09	18.36	18.80	19.33	19.87	20.34	20.69	20.95	21.89	22.48	22.51	22.39	22.18	21.93	21.65	
2	21.16	20.87	20.59	20.32	20.06	19.82	19.62	18.39	18.15	18.25	18.55	18.97	19.43	19.87	20.26	20.58	20.83	21.79	22.42	22.46	22.33	22.11	21.83	21.54	
3	20.64	20.43	20.22	20.01	19.80	19.60	19.44	18.22	17.94	17.98	18.21	18.55	18.94	19.30	19.60	19.81	19.91	20.80	21.35	21.41	21.33	22.18	21.00	20.80	
4	20.74	20.50	20.28	20.06	19.85	19.65	19.49	18.28	18.01	18.03	18.24	18.55	18.90	19.24	19.52	19.75	19.93	20.90	21.53	21.62	21.54	21.39	21.18	20.96	
5	20.88	20.62	20.38	20.14	19.92	19.71	19.58	18.45	18.25	18.32	18.57	18.91	19.27	19.65	19.99	20.27	20.45	21.31	21.91	21.93	21.81	21.62	21.39	21.14	
6	20.64	20.41	20.19	19.97	19.76	19.57	19.45	18.28	18.03	18.05	18.23	18.51	18.84	19.18	19.47	19.70	19.87	20.84	21.44	21.53	21.46	21.30	21.09	20.87	
7	20.43	20.21	20.00	19.79	19.59	19.39	19.26	18.11	17.86	17.90	18.10	18.38	18.69	18.99	19.28	19.52	19.71	20.67	21.25	21.33	21.25	21.10	20.90	20.68	
8	20.67	20.41	20.16	19.92	19.69	19.48	19.33	18.14	17.88	17.92	18.14	18.45	18.79	19.11	19.42	19.71	19.95	20.96	21.60	21.68	21.59	21.40	21.17	20.91	
9	20.46	20.20	19.95	19.71	19.48	19.27	19.12	17.95	17.73	17.82	18.08	18.46	18.87	19.28	19.64	19.92	20.10	21.04	21.60	21.61	21.47	21.26	21.03	20.78	
10	20.78	20.52	20.26	20.00	19.75	19.52	19.35	18.17	17.94	18.04	18.30	18.68	18.98	19.46	19.78	20.04	20.22	21.15	21.67	21.69	21.59	21.41	21.20	20.96	
11	20.29	20.08	19.87	19.67	19.48	19.31	19.17	18.00	17.76	17.84	18.12	18.52	18.95	19.36	19.65	19.85	19.96	20.84	21.33	21.31	21.17	20.98	20.76	20.54	
12	20.62	20.32	20.03	19.75	19.48	19.24	19.04	17.79	17.55	17.68	18.03	18.51	19.04	19.54	19.94	20.25	20.44	21.33	21.80	21.88	21.72	21.49	21.22	20.90	

[illegible]

Tabla 16. Datos arrojados en perreras para PZOM y WBEM.

*Fuente propia (2017).*



Edificio Clínica PZOM																								
Mes / Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	15.21	14.73	14.30	13.93	13.61	13.33	13.32	14.94	16.84	18.88	20.72	22.26	23.35	23.96	24.16	24.08	23.61	22.62	20.69	19.22	18.06	17.15	16.39	15.75
2	15.17	14.74	14.38	14.06	13.77	13.55	13.67	15.68	17.82	19.76	21.32	22.34	22.95	23.47	23.86	23.88	23.48	22.55	20.64	19.12	17.93	17.03	16.33	15.71
3	15.22	14.85	14.53	14.23	13.97	13.74	13.80	15.40	17.12	18.86	20.37	21.41	21.96	22.29	22.30	22.01	21.57	20.85	19.31	18.21	17.33	16.65	16.09	15.61
4	15.16	14.79	14.46	14.17	13.90	13.74	13.89	15.40	17.02	18.72	20.18	21.22	21.86	22.15	22.25	22.20	21.96	21.30	19.65	18.41	17.45	16.70	16.10	15.59
5	15.18	14.81	14.47	14.18	13.95	13.82	14.13	16.03	17.93	19.58	20.95	21.98	22.64	23.13	23.22	22.97	22.42	21.55	19.75	18.46	17.49	16.78	16.15	15.63
6	15.03	14.67	14.37	14.08	13.81	13.63	13.92	15.65	17.33	18.85	20.14	21.19	21.96	22.27	22.28	22.12	21.86	21.15	19.48	18.22	17.27	16.52	15.92	15.43
7	14.77	14.43	14.12	13.84	13.60	13.43	13.62	15.33	17.05	18.74	20.05	20.92	21.51	21.87	22.00	21.90	21.58	20.89	19.21	17.97	17.01	16.28	15.69	15.20
8	14.84	14.46	14.14	13.85	13.58	13.41	13.63	15.32	17.08	18.80	20.18	21.10	21.67	22.05	22.37	22.46	22.23	21.52	19.77	18.38	17.30	16.46	15.80	15.25
9	14.67	14.27	13.93	13.63	13.34	13.18	13.55	15.40	17.35	19.12	20.58	21.62	22.31	22.74	22.88	22.80	22.26	21.24	19.39	18.10	17.13	16.38	15.73	15.18
10	14.90	14.46	14.07	13.73	13.45	13.28	13.59	15.50	17.42	19.20	20.62	21.63	22.33	22.73	22.94	22.83	22.25	21.29	19.53	18.28	17.33	16.57	15.92	15.37
11	14.87	14.55	14.27	14.01	13.76	13.60	13.90	15.57	17.27	18.96	20.46	21.67	22.31	22.50	22.43	22.17	21.58	20.57	18.82	17.66	16.84	16.20	15.66	15.22
12	14.40	13.96	13.59	13.27	12.99	12.78	13.02	14.95	17.09	19.12	20.89	22.13	22.87	23.29	23.43	23.18	22.55	21.49	19.56	18.14	17.09	16.28	15.57	14.98

Edificio Clínica WBEM																								
Mes / Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	18.45	18.08	17.71	17.36	17.02	16.70	16.47	17.04	17.79	19.40	19.80	20.60	21.60	22.06	22.10	22.16	22.07	21.78	21.12	20.56	20.08	19.64	19.23	18.83
2	18.16	17.83	17.50	17.18	16.87	16.60	16.42	17.05	17.80	19.31	19.60	20.24	21.12	21.58	21.64	21.74	21.67	21.42	20.75	20.20	19.73	19.31	18.93	18.56
3	17.76	17.47	17.18	16.90	16.63	16.37	16.19	16.74	17.37	18.84	19.00	19.63	20.53	20.88	20.73	20.70	20.65	20.46	19.80	19.34	18.95	18.61	18.30	17.99
4	17.63	17.35	17.06	16.78	16.51	16.27	16.15	16.73	17.36	18.79	18.88	19.42	20.31	20.69	20.60	20.69	20.71	20.55	19.86	19.36	18.96	18.60	18.27	17.96
5	17.95	17.65	17.34	17.05	16.78	16.55	16.46	17.16	17.87	19.25	19.41	19.98	20.88	21.36	21.34	21.34	21.26	21.02	20.29	19.77	19.35	18.99	18.63	18.29
6	17.71	17.41	17.13	16.85	16.57	16.32	16.20	16.82	17.47	18.88	18.94	19.46	20.43	20.82	20.71	20.82	20.85	20.65	19.94	19.42	19.00	18.63	18.29	17.98
7	17.34	17.05	16.77	16.50	16.24	15.99	15.87	16.50	17.13	18.54	18.60	19.07	20.01	20.44	20.39	20.48	20.48	20.31	19.60	19.09	18.67	18.31	17.98	17.67
8	17.53	17.23	16.93	16.65	16.37	16.11	15.96	16.57	17.23	18.67	18.74	19.24	20.14	20.56	20.63	20.77	20.79	20.60	19.88	19.34	18.89	18.49	18.12	17.79
9	17.28	16.97	16.67	16.38	16.09	15.83	15.73	16.40	17.12	18.63	18.76	19.38	20.36	20.78	20.72	20.79	20.70	20.44	19.69	19.17	18.76	18.39	18.03	17.69
10	17.73	17.39	17.06	16.74	16.45	16.19	16.09	16.85	17.64	19.15	19.31	19.87	20.74	21.09	21.10	21.15	21.04	20.81	20.08	19.57	19.14	18.75	18.39	18.04
11	17.66	17.38	17.10	16.82	16.55	16.30	16.21	16.90	17.67	19.18	19.41	20.07	20.88	21.17	21.04	21.02	20.90	20.62	19.88	19.38	18.97	18.61	18.28	17.96
12	17.66	17.29	16.95	16.62	16.30	16.02	15.88	16.56	17.42	19.09	19.43	20.10	21.00	21.45	21.45	21.48	21.37	21.06	20.32	19.76	19.28	18.86	18.46	18.07
		<19.35		>24.35																				

Tabla 17. Datos arrojados en zona de clínica para PZOM y WBEM.

Fuente propia (2017).

Hospitalización y Quirófano PZOM																								
Mes / Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	16.26	15.63	15.05	14.52	14.04	13.62	13.42	15.51	17.35	19.12	20.83	22.39	23.58	24.45	25.00	25.19	24.91	24.13	22.19	20.70	19.51	18.53	17.67	16.91
2	16.20	15.58	15.01	14.50	14.05	13.68	13.59	15.83	17.79	19.52	21.14	22.45	23.38	24.30	24.96	25.15	25.02	24.30	22.32	20.81	19.62	18.63	17.77	16.99
3	15.83	15.33	14.86	14.43	14.04	13.68	13.61	15.75	17.57	19.24	20.79	22.11	23.02	23.68	23.93	23.94	23.68	22.96	21.07	19.63	18.55	17.70	16.97	16.33
4	15.97	15.43	14.93	14.47	14.08	13.79	13.82	15.92	17.69	19.31	20.72	21.85	22.76	23.49	23.99	24.23	24.05	23.26	21.35	19.94	18.87	17.97	17.22	16.56
5	16.11	15.53	15.02	14.57	14.18	13.91	14.07	16.55	18.53	20.12	21.58	22.82	23.74	24.82	25.27	25.21	24.95	24.05	21.95	20.42	19.24	18.30	17.48	16.76
6	15.84	15.30	14.82	14.37	13.96	13.66	13.82	16.13	17.94	19.41	20.77	21.99	23.01	23.70	24.14	24.32	24.17	23.35	21.38	19.89	18.78	17.87	17.08	16.41
7	15.56	15.02	14.55	14.13	13.75	13.44	13.52	15.90	17.78	19.47	20.84	21.91	22.88	23.65	24.11	24.27	24.08	23.35	21.32	19.77	18.61	17.66	16.88	16.21
8	15.80	15.21	14.68	14.21	13.79	13.46	13.51	15.80	17.69	19.33	20.76	21.96	22.92	23.68	24.35	24.66	24.52	23.73	21.71	20.16	18.95	17.95	17.12	16.40
9	15.46	14.89	14.37	13.90	13.47	13.16	13.33	15.71	17.72	19.39	20.90	22.18	23.14	23.83	24.31	24.50	24.12	23.24	21.27	19.82	18.67	17.71	16.89	16.18
10	15.70	15.12	14.59	14.12	13.69	13.35	13.49	15.98	17.99	19.65	21.13	22.30	23.17	23.83	24.33	24.33	23.91	23.12	21.19	19.72	18.61	17.71	16.94	16.25
11	15.43	14.96	14.52	14.10	13.72	13.42	13.53	15.78	17.64	19.26	20.75	22.06	22.84	23.36	23.64	23.62	23.17	22.40	20.58	19.21	18.17	17.33	16.62	15.98
12	15.33	14.71	14.16	13.67	13.23	12.88	12.90	15.06	17.00	18.76	20.39	21.75	22.74	23.56	24.07	24.11	23.82	23.01	21.16	19.72	18.59	17.66	16.81	16.06

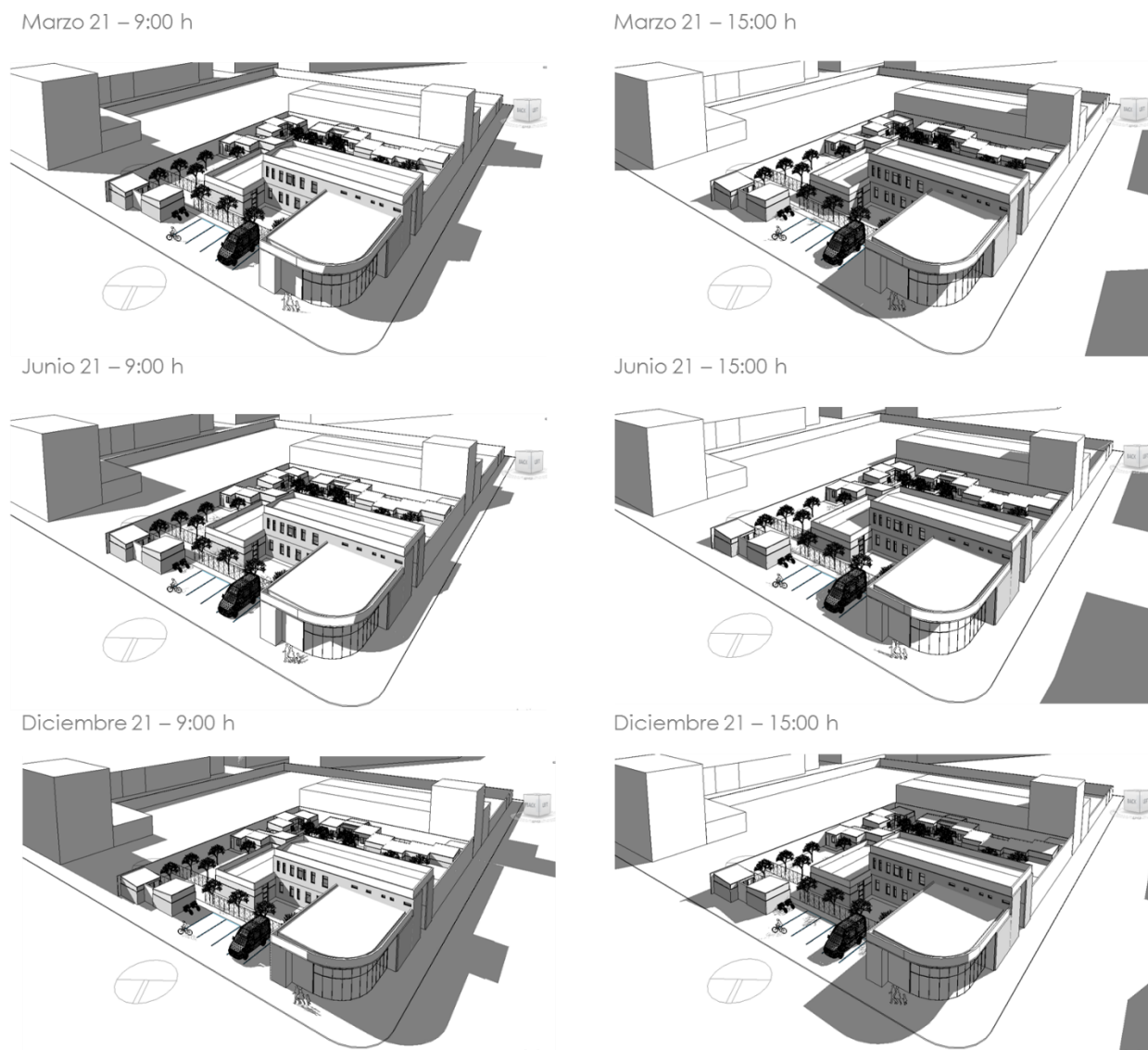
Hospitalización y Quirófano WBEM																								
Mes / Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	16.26	15.79	15.37	14.99	14.64	14.34	14.22	15.31	16.83	19.91	20.56	21.74	23.27	24.01	23.59	23.18	22.61	21.91	20.77	19.72	18.82	18.04	17.35	16.76
2	16.21	15.77	15.38	15.03	14.72	14.46	14.43	15.71	17.27	20.26	20.79	21.66	22.89	23.57	23.25	22.90	22.40	21.75	20.62	19.59	18.72	17.96	17.32	16.75
3	16.13	15.76	15.43	15.13	14.85	14.61	14.56	15.61	16.94	19.82	20.25	21.16	22.50	23.11	22.49	22.06	21.57	20.94	19.85	18.91	18.15	17.52	16.98	16.51
4	16.17	15.79	15.44	15.12	14.84	14.63	14.64	15.63	16.85	19.75	19.96	20.66	22.00	22.70	22.22	21.96	21.60	21.05	20.02	19.09	18.32	17.66	17.09	16.60
5	16.27	15.86	15.50	15.18	14.91	14.71	14.80	16.04	17.37	20.23	20.42	21.20	22.53	23.33	22.95	22.62	22.17	21.52	20.37	19.36	18.54	17.85	17.26	16.73
6	16.13	15.74	15.39	15.08	14.79	14.57	14.65	15.78	17.02	19.75	19.88	20.61	22.11	22.86	22.37	22.12	21.81	21.19	20.11	19.14	18.35	17.65	17.06	16.55
7	15.90	15.52	15.18	14.88	14.61	14.39	14.42	15.53	16.79	19.64	19.84	20.37	21.70	22.42	22.02	21.81	21.46	20.91	19.84	18.89	18.10	17.42	16.85	16.35
8	15.98	15.57	15.20	14.88	14.59	14.36	14.39	14.59	16.79	19.60	19.82	20.55	21.88	22.60	22.30	22.16	21.85	21.26	20.17	19.16	18.32	17.58	16.96	16.42
9	15.82	15.41	15.03	14.70	14.40	14.18	14.31	15.52	17.00	19.86	20.21	21.04	22.43	23.12	22.70	22.41	21.87	21.17	20.02	19.02	18.19	17.48	16.87	16.33
10	15.99	15.55	15.15	14.80	14.49	14.25	14.36	15.69	17.19	20.05	20.42	21.19	22.45	23.09	22.70	22.36	21.85	21.22	20.09	19.09	18.27	17.57	16.96	16.43
11	15.89	15.55	15.24	14.95	14.69	14.49	14.61	15.81	17.22	20.13	20.50	21.37	22.58	23.07	22.45	21.96	21.42	20.78	19.63	18.67	17.91	17.27	16.74	16.28
12	15.65	15.19	14.79	14.44	14.13	13.88	13.94	15.24	16.90	19.98	20.47	21.40	22.74	23.39	22.89	22.47	21.91	21.21	20.03	18.99	18.13	17.40	16.76	16.19

Administración PZOM																									
Mes / Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	15.39	14.68	14.01	13.42	12.88	12.42	12.30	14.64	16.90	19.10	21.26	23.22	24.67	25.61	26.05	26.03	25.48	24.28	22.12	20.44	19.11	17.97	16.98	16.13	
2	15.28	14.59	13.97	13.41	12.91	12.53	12.59	15.18	17.58	19.70	21.73	23.32	24.42	25.46	26.04	26.00	25.66	24.55	22.29	20.55	19.17	18.03	17.06	16.16	
3	15.02	14.45	13.93	13.46	13.02	12.64	12.68	15.05	17.18	19.17	21.11	22.73	23.75	24.41	24.49	24.36	23.99	22.96	20.87	19.29	18.09	17.13	16.32	15.59	
4	15.13	14.54	13.97	13.47	13.03	12.75	12.93	15.26	17.33	19.24	20.97	22.35	23.37	24.05	24.46	24.69	24.48	23.36	21.18	19.61	18.40	17.38	16.53	15.71	
5	15.20	14.58	14.01	13.51	13.11	12.86	13.25	16.05	18.34	20.15	21.84	23.27	24.27	25.35	25.67	25.59	25.29	24.02	21.69	19.99	18.69	17.66	17.33	15.92	
6	14.98	14.38	13.87	13.37	12.90	12.60	12.99	15.60	17.68	19.30	20.84	22.26	23.40	24.05	24.45	24.69	24.58	23.41	21.19	19.53	18.28	17.25	16.37	15.62	
7	14.64	14.06	13.53	13.07	12.66	12.34	12.59	15.23	17.39	19.27	20.83	22.07	23.16	23.89	24.28	24.46	24.25	23.25	20.99	19.29	18.01	16.96	16.09	15.34	
8	14.84	14.19	13.62	13.11	12.64	12.31	12.55	15.12	17.28	19.15	20.83	22.23	23.30	24.07	24.74	25.09	24.95	23.84	21.54	19.77	18.40	17.26	16.31	15.52	
9	14.48	13.84	13.27	12.77	12.28	11.98	12.41	15.06	17.40	19.39	21.28	22.84	23.93	24.58	24.94	25.06	24.43	23.11	20.91	19.33	18.07	17.00	16.06	15.26	
10	14.80	14.13	13.53	13.01	12.55	12.21	12.57	15.33	17.70	19.70	21.53	22.93	23.92	24.57	24.99	24.71	24.19	22.94	20.88	19.31	18.08	17.07	16.02	15.43	
11	14.50	13.99	13.51	13.07	12.65	12.36	12.67	15.15	17.35	19.29	21.14	22.74	23.60	24.08	24.21	23.98	23.24	22.03	20.06	18.60	17.49	16.57	15.78	15.09	
12	14.24	13.55	12.96	12.42	11.94	11.58	11.78	14.33	16.77	18.96	21.03	22.70	23.84	24.71	25.07	24.80	24.25	22.97	20.87	19.24	17.98	16.92	15.94	15.08	

Administración WBEM																									
Mes / Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	15.34	14.69	14.10	13.59	13.14	12.76	12.54	13.65	15.33	19.29	20.51	22.16	24.17	25.16	25.03	24.83	24.35	23.49	21.88	20.37	19.05	17.91	16.93	16.08	
2	15.35	14.75	14.22	13.76	13.36	13.04	12.91	14.18	15.98	19.85	20.91	22.16	23.79	24.74	24.67	24.53	24.16	23.35	21.78	20.25	18.94	17.83	16.90	16.09	
3	15.45	14.92	14.44	14.02	13.65	13.32	13.16	14.34	15.97	19.74	20.63	22.92	23.60	24.35	23.88	23.50	23.06	22.37	20.91	19.29	18.46	17.52	16.72	16.02	
4	15.43	14.90	14.42	13.99	13.61	13.32	13.26	14.50	16.08	19.77	20.49	21.57	23.21	24.02	23.68	23.56	23.31	22.68	21.20	19.82	18.65	17.64	16.80	16.07	
5	15.50	14.94	14.45	14.02	13.67	13.42	13.47	14.98	16.75	20.31	21.05	22.12	23.75	24.82	24.66	24.37	23.95	23.17	21.55	20.07	18.82	17.80	16.92	16.16	
6	15.39	14.84	14.37	13.94	13.56	13.25	13.26	14.63	16.27	19.86	20.40	21.42	23.18	24.07	23.72	23.61	23.45	22.83	21.31	19.86	18.63	17.60	16.73	15.99	
7	15.08	14.54	14.08	13.66	13.31	13.02	12.99	14.36	15.98	19.54	20.14	21.03	22.64	23.60	23.38	23.30	23.05	22.43	20.92	19.50	18.30	17.29	16.44	15.72	
8	15.16	14.58	14.09	13.66	13.27	12.95	12.90	14.23	15.93	19.63	20.28	21.31	22.89	23.82	23.67	23.82	23.64	22.97	21.44	19.94	18.63	17.52	16.58	15.80	
9	14.89	14.32	13.81	13.37	12.98	12.67	12.69	14.15	16.05	19.87	20.73	21.99	23.68	24.51	24.22	24.02	23.47	22.54	20.94	19.50	18.29	17.26	16.38	15.61	
10	15.10	14.48	13.93	13.45	13.05	12.73	12.73	14.25	16.17	19.94	20.80	21.91	23.68	24.51	24.21	24.09	23.42	22.64	21.08	19.67	18.46	17.42	16.54	15.76	
11	15.01	14.45	14.13	13.76	13.42	13.12	13.10	14.44	16.16	19.87	20.72	21.95	23.49	24.12	23.65	23.29	22.73	21.92	20.31	18.95	17.85	16.95	16.19	15.53	
12	14.52	13.89	13.36	12.90	12.50	12.19	12.12	13.41	15.28	19.36	20.42	21.73	23.49	24.40	24.15	23.84	23.35	22.45	20.77	19.27	18.03	16.98	16.08	15.27	
			<19.35		>24.35																				

*Tabla 19. Datos arrojados en zona de administración para PZOM y WBEM.*

Se observan patrones similares de temperaturas para ambas metodologías, se analiza también que donde se observó mayor variación fue en el edificio de la administración el cual a diferencia de los demás presenta un porcentaje mayor de aberturas.



*Figura 30. Estudio solar del proyecto.*

*Fuente propia (2017), elaborado en Revit 2017.*

### **3.5 Análisis de resultados de la investigación**

En este documento se analizó el marco teórico de lo concerniente al amplio tema de simulación energética, se abordaron temas como los tipos de modelación energética, su clasificación según diferentes criterios; y el tema principal de la investigación: las metodologías de simulación. La

recopilación de los temas descritos fue extraída de publicaciones de organismos internacionales líderes en éstas prácticas, la principal fuente fue el *Chartered Institution of Building Services Engineers* (CIBSE), organismo británico, cuya contribución al campo de la ciencia, el arte y la práctica de servicios de ingeniería de edificaciones se ha consagrado como una de las mejores instituciones dedicadas a estos fines. También, otra fuente de información de primera clase es la *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE). Muchos temas se han resumido, pero se convierten en el punto de partida de futuras investigaciones gracias a la bibliografía utilizada, la cual puede ser consultada por futuros investigadores. Un punto que llama mucho la atención y sobre el cual el CIBSE en sus manuales hace énfasis, es el comprender que las simulaciones energéticas no son predicciones de cómo se comportará el edificio, es clave entender esto, puesto que ayuda a los profesionales en simulación y a los que se están iniciando en tener un marco lógico para la interpretación de resultados, puesto que algunos datos pueden ser demasiado teóricos y que no se producen en la realidad. Tal es el caso de picos de temperatura en un clima como Bogotá, donde se registran datos arrojados por simulaciones de temperaturas operativas que sobrepasan los 33°C bajo ciertas circunstancias, entonces, entendiendo que esos datos no son predicciones, puedo definir un criterio para aclarar que, si bien es muy posible que no se desarrolle una temperatura de tal magnitud, si debo mantenerme alerta para intuir que esas altas temperaturas le están diciendo al modelador que inevitablemente sí se van a reproducir registros altos que obligarán a tomar medidas de mitigación.

Toda la investigación contenida en el marco teórico, es capaz de revelar a los lectores, que al haber tantos tipos y clasificación de simulaciones, una sola simulación energética, puede no ser capaz de generar un diseño adecuado, puesto que la sostenibilidad al igual que las simulaciones, es un componente integral que debe ser evaluado desde diferentes aspectos como ventilación, iluminación, consumo energético, confort térmico, aquí mencionando solo los temas que

competen a la simulación energética. Esto ayuda a aclarar dudas y orientar a profesionales acerca de las expectativas frente a las simulaciones.

En el Anexo C se encuentra una guía con los programas más utilizados, este listado es obtenido desde la página del Departamento de Energía de los Estados Unidos. También se puede ver una pequeña descripción de cada uno. Este anexo pretende colaborar en abordar todos los temas de la simulación energética mediante la información a los lectores acerca de que programas pueden utilizar, debido, a que el mercado está saturado de programas y muchas veces la elección de un software no es una tarea sencilla. Se hace la aclaración que el Anexo C no constituye una herramienta para elección de programas pero sí una guía informativa.

la elección de un Centro de Bienestar Animal (CAB) surge a partir generar un campo para investigaciones futuras sobre un tema que se viene debatiendo en el congreso acerca de las afectaciones que producen el deambular de los animales en vías públicas y su mitigación mediante establecimientos donde albergar esta fauna callejera además de semovientes. Diferentes legislaciones han surgido para incentivar, por parte de las ciudades y municipios la construcción de centros de bienestar animal que también reciben el nombre cosos. Por otro lado, con el fin de estudiar los alcances de las metodologías PZOM y WBEM, se pensó también, que este tipo de equipamiento es interesante desde un punto de vista de diseño sostenible, toda vez que los criterios de diseño son particulares si se tiene en cuenta que el diseño está destinado para diferentes especies, entre ellas los humanos y que además cada uno de los espacios requiere de cualidades de confort muy diferentes. Se espera entonces, que este trabajo pueda alimentar y generar futuras investigaciones en este campo, teniendo en cuenta que al menos para la ciudad de Bogotá, se espera que cada localidad cuente con un CAB.

### 3.5.1 Rol de las metodologías de simulación

Con este trabajo se puede observar la pertinencia de las simulaciones en el proceso de diseño arquitectónico, además del uso de acuerdo a metodologías de simulación como PZOM y WBEM y su ejecución dependiendo de la etapa de diseño. Este último punto es fundamental para entender que las simulaciones se deben llevar a cabo de acuerdo a marcos lógicos como son las etapas de diseño o los objetivos que se persiguen. Con las simulaciones de serie 1 PZOM se pudo observar cómo se podía iterar en las diferentes opciones de diseño que se iban adoptando con el fin de lograr decisiones optimizadas respaldadas por cómputos. Lo mismo sucede en la simulación PZOM serie 2 donde se habían establecido unos criterios de diseño gracias simulaciones anteriores y la evaluación de los espacios principales fue más rápida al no tener que iterar nuevamente sobre componentes como materiales, orientación o aberturas, entre otros. En la simulación WBEM, necesaria en una etapa de diseño avanzada, fue interesante observar que los valores PZOM mantienen una similitud en los valores promedio y mediana, donde se observó que la máxima diferencia en grados es de  $1.13^{\circ}\text{C}$ . En los resultados de temperaturas máximas y mínimas sí se observan diferencias significativas, llegando a los  $5.36^{\circ}\text{C}$ , atribuidas posiblemente a la estabilidad térmica que presenta un modelo completo frente a un modelo representativo. De esta investigación se puede observar entonces que estos datos son más susceptibles a variaciones que los datos de media y mediana. Esto abre la posibilidad para una futura investigación donde se comparen PZOM y WBEM en dos softwares diferentes para comprobar si ocurre el mismo patrón de diferencias: bajo para media y mediana y alto para temperaturas máximas y mínimas. Con la base de datos de resultados obtenidos de las simulaciones se pueden calcular diferentes datos, la pregunta que se debe hacer cada modelador es: ¿Qué más puedo hacer con los resultados para profundizar el análisis?, gracias a este tipo de preguntas se obtuvieron métricas como horas de confort basadas en un conteo de las 8760 h de un año cuáles se encontraban en el rango de

confort establecido, entre más métricas se tengan mejores análisis se pueden lograr y mayor apoyo en la toma de decisiones se puede obtener. De acuerdo a lo anterior, el modelador debe seguir cuestionándose acerca de que otras herramientas de tabulación estadística puede implementar para corroborar sus hipótesis, puesto que posiblemente, los resultados de la media aritmética no sean por sí solos concluyentes. Tal es el caso de esta investigación donde se comprobó que calcular la mediana y la desviación estándar produjeron mayor análisis y comprensión de los datos. Así, se pudo establecer que los modelos PZOM presentan una mayor desviación estándar frente los WBEM, lo cual puede ayudar a entender la alta diferencia entre los valores ( $^{\circ}\text{C}$ ) de temperaturas máximas, mínimas y horas de confort.

Tipo de dato	Promedio ( $^{\circ}\text{C}$ )
Temp. Mín. WBEM	13.22
Temp. Mín. PZOM	11.05
<b>Diferencia</b>	2.17
Temp. Máx. WBEM	26.18
Temp. Máx. PZOM	29.80
<b>Diferencia</b>	3.62
Prom. Medias WBEM	18.78
Prom. Medianas WBEM	18.42
<b>Diferencia</b>	0.37
Prom. Medias PZOM	18.66
Prom. Medianas PZOM	17.97
<b>Diferencia</b>	0.69

Tabla 20. Comparación de datos simulaciones PZOM s2 y WBEM.

Fuente propia (2017).

La tabla 16 muestra una comparación entre la media y la mediana por metodología para ayudar a identificar que entre los dos valores de cada estadística se observa una diferencia de aproximadamente  $-1^{\circ}\text{C}$  ( $0.37^{\circ}\text{C}$  y  $0.69^{\circ}\text{C}$ ), siendo siempre mayores los valores de la media. El promedio de valores obtenidos para media PZOM fue de  $18.66^{\circ}\text{C}$  y para mediana  $17.97^{\circ}\text{C}$ , generando mayor confianza en la utilización de los datos de la mediana como referencia frente a los de la media puesto que se aconseja calcular median cuando los rangos de temperaturas son amplios, tabla 17.

<b>Tipo de dato</b>	<b>Diferencia (°C)</b>
Rango de dif. Entre temp. Mín.y temp. Máx. WBEM	12.95
Rango de dif. Entre temp. Mín.y temp. Máx. PZOM	18.75

*Tabla 21. Rango de temperaturas promedio operativas por metodología.*

*Fuente propia (2017)*

Con las dos tablas anteriores se pone de manifiesto la pregunta formulada acerca de qué más puedo hacer con los datos obtenidos. Todos los valores obtenidos ayudan a establecer y entender las diferencias entre PZOM y WBEM. Donde se podría concluir que los datos WBEM son más estables porque muestran menor variación frente a los de PZOM.

Con estos datos, se pueden establecer expectativas frente a los resultados obtenidos para cada metodología de simulación además de establecer criterios de uso dependiendo la fase de diseño.



## CONCLUSIONES

De acuerdo a los aspectos relevantes acerca de los modelos de simulación energética, descritos en el capítulo 1.6, DesignBuilder es una herramienta que cumple con múltiples parámetros de modelado para lograr resultados adecuados, tales como: posibilidad de ejecutar simulaciones de régimen dinámico; posibilidad de colocar grosor a los muros y a los elementos como placas y cubiertas; posibilidad de asignar grosor al espacio del ático; posibilidad para asignar diferentes dos tipos muros divisorios (standard y virtual) de zonificación para asemejar el intercambio de calor entre zonas según los establece los criterios de modelación térmica. Entre otras características, el programa cuenta también con una amplia gama de materiales con sus respectivas características físicas, plantillas para horarios, plantillas para perfiles y esquemas de ocupación y operación.

La gran cantidad de datos que arroja una simulación horaria (8760 h) constituye una tarea difícil de procesar, aún con una hoja de cálculo, por lo que se hace necesario la elaboración de tablas de resumen para identificar valores clave con los cuales establecer listas de prioridades para poder categorizar todos los datos y facilitar la toma de decisiones. Durante la tabulación de los datos se pudo evidenciar que es una tarea dispendiosa el organizar toda la información, además de presentar la vulnerabilidad de ser susceptible a error humano, debido a esto, se concluye que sería de gran ayuda un algoritmo de programación que sea capaz de procesar la información y acomodarla en tablas resumen, donde además pueda calificar los modelos, tal como se hizo en la matriz para visualización y ponderación de resultados (3.3.3.2), de generar ese código, se facilitará la labor de toma de decisiones por parte del modelador.

Teniendo en cuenta que las simulaciones energéticas son procesos iterativos, se puede evidenciar que la matriz de visualización y ponderación de resultados ayuda a definir prioridades, basadas en

la búsqueda de desempeños óptimos. La ponderación de las prioridades facilita y colabora en la labor de selección de los mejores desempeños y por lo tanto de las mejores configuraciones de diseño de los modelos. El hecho de que haya siempre una puntuación, donde haya un modelo que obtenga la mayoría de puntos, no necesariamente constituye una decisión fehaciente del mismo, puesto que otras variables, definidas en las prioridades, pueden entrar en juego y quedan sujetas al criterio del profesional de las simulaciones, pero, lo que no se puede negar es la ayuda que presta la tabla de visualización en la toma de decisiones y en la comunicación de resultados a los miembros que integren los equipos de diseño.

Establecer una matriz de simulaciones a ejecutar es un buen recurso, además de una práctica de buen manejo, toda vez que las simulaciones son procesos iterativos. Esta matriz ayuda a enfocar los esfuerzos de tiempo y rendimiento del computador, al organizar el número y tipo de simulaciones que han de ser desarrolladas, además, pueden constituir un documento para las memorias de simulación que deben acompañar los entregables de las simulaciones energéticas.

Ver Anexo D Matriz de Simulaciones

El uso de las dos metodologías PZOM y WBEM constituye una sinergia de apoyo en la toma de decisiones para la optimización de diseño, es buena práctica el llevar a cabo las dos, sin embargo, la metodología PZOM, por sí sola, no debe constituir una única fuente de datos para la toma de decisiones, puesto que no integra todas las variables que puede integrar WBEM, no obstante, es un buen recurso para iniciar un proceso de optimización energética en el diseño, donde se puede evidenciar un progreso ágil en las primeras decisiones que debe tomar el arquitecto, relacionadas concretamente a medidas de conservación energética y estética arquitectónica. Por su parte, WBEM podría constituirse como la única serie de simulaciones, sin embargo, en cuanto a fiabilidad de resultados, con una PZOM previa se pueden evidenciar fallas en el diseño en etapas

donde los cambios no son significativos en dinero. El ejercicio, tal como está planteado, intenta demostrar que la elaboración de ambas metodologías puede producir un diseño optimizado.

Al comparar los datos de la segunda serie de simulaciones PZOM y las simulaciones WBEM, se observa que los datos pueden estar por encima o por debajo entre ellos mismos, lo que sí es importante recalcar, es que los valores finales tienen una cercanía, donde la mayor diferencia se observa en el edificio de las perreras / gateras con un  $0.84^{\circ}\text{C}$ . En general, el promedio en grados centígrados es de  $0.82^{\circ}\text{C}$ , una cifra que puede ser confiable partiendo de dos principios, que los resultados nunca van a ser iguales entre simulaciones y que es una cifra baja puesto que no supera el grado centígrado.

En relación a que existen varios tipos de modelación energética, la sola simulación térmica no es capaz de producir un diseño totalmente optimizado, puesto que se están negando otras variables como consumo energético, ventilación e iluminación, lo ideal en la evaluación de un diseño es que esté acompañado de todos los tipos modelación energética para lograr todas las medidas conservación de energía que requieren los proyectos en aras de mitigar los impactos de la construcción frente al calentamiento global. Gracias a que los procesos de diseño actualmente deben ser colaborativos, un solo contratista no necesariamente debe elaborar todos las modelaciones, puesto que pueden existir modeladores especializados, sin embargo, el hecho que los procesos sean colaborativos, permite que los resultados se vayan compartiendo con todos los integrantes del equipo de diseño, sin importar si son elaborados con *software* distinto.

El haber escogido como caso de estudio un centro de bienestar animal, abre la puerta a futuras investigaciones que estén encaminadas a un proyecto de esta naturaleza, también, pone en conocimiento a los desarrolladores e impulsores de proyectos, que las nuevas dinámicas de diseño deben contemplar la simulación energética como requisito, bien sea éste de cumplimiento de códigos sostenibles, especificaciones del dueño del proyecto o para certificación sostenible.

Tablas, donde se conozcan las métricas metabólicas de animales son necesarias porque de la misma manera, los inputs de los modelos contemplan las ratas metabólicas de los seres humanos, categorizadas por sexo, rango de edad, actividad física, entre otros.

La utilización de otras fórmulas estadísticas como mediana y desviación estándar ayudan a mejorar el análisis de resultados frente a haber utilizado únicamente la fórmula de promedio o media estadística.

## **Bibliografía**

Szokolay, Steven. Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design. 3ra ed. Nueva York: Routledge 2014.

Lechner, Norbert. Heating Cooling and Lighting. 4ta ed. New Jersey: Wiley 2015

Dekay, Mark. Sun, Wind and Light: Architectural Design Strategies. 3 ed. New Jersey: Wiley 2014

Olgay, Victor. Arquitectura y Clima. 1 ed. Barcelona: Gustavo Gili 2008

Mardaljevic, John. Climate-Based Daylight Modelling And Its Discontents. CIBSE Technical Symposium. Londres. 2015

Iain, Hill. Climate Based Daylight Modelling and the Optimisation of School Classroom Design – An Industrial View. CIBSE Technical Symposium. Londres. 2015

USDA/APHIS. Animal Care Tech Note. Riverdale MD. 2013

Horwitz, Debra. Manual de Comportamiento en Pequeños Animales. Barcelona: Ediciones S. 2012

Birchard, Stephen. Manual Clínico de Pequeñas Especies. Mexico DF: McGraw Hill. 1996

ASHRAE. Advanced Energy Design Guides for Small to Medium Office Buildings 50%. 2014

CIBSE. AM11 Building Performance Modelling. Londres. 2015

CIBSE. TM54 Evaluating Energy Performance at Design Stage. Londres. 2013

CIBSE. Guide A. Environmental Design. Londres. 2015

CIBSE. Guide F. Energy Efficiency. Londres 2012

## Anexo A – Datos climáticos del lugar de emplazamiento

### Generalidades

Ciudad de emplazamiento: Bogotá DC., Colombia.

Estación meteorológica: Apto Eldorado P1-2; Cat SP; código: 2120579. Datos de un rango de 29 años años (1981-2010).

Altitud: 2547 msnm / Longitud: -74.142 / Latitud: 4.696

Distancia estación meteorológica a lugar de emplazamiento: 12.2 km (long) y 43 m (altitud).

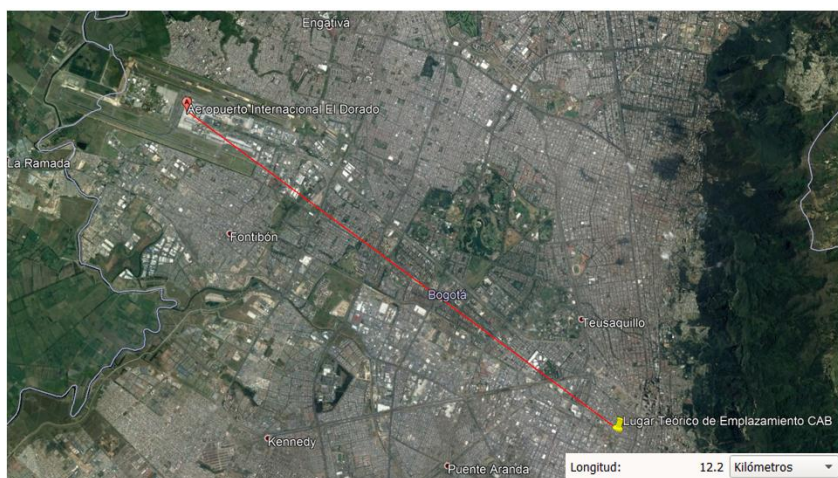


Figura 31. Ubicación y distancia de estación meteorológica.

Fuente Google Earth Pro

### Clasificación climática

Clasificación climática para el departamento de Cundinamarca según Atlas Climático de Colombia fuente IDEAM.

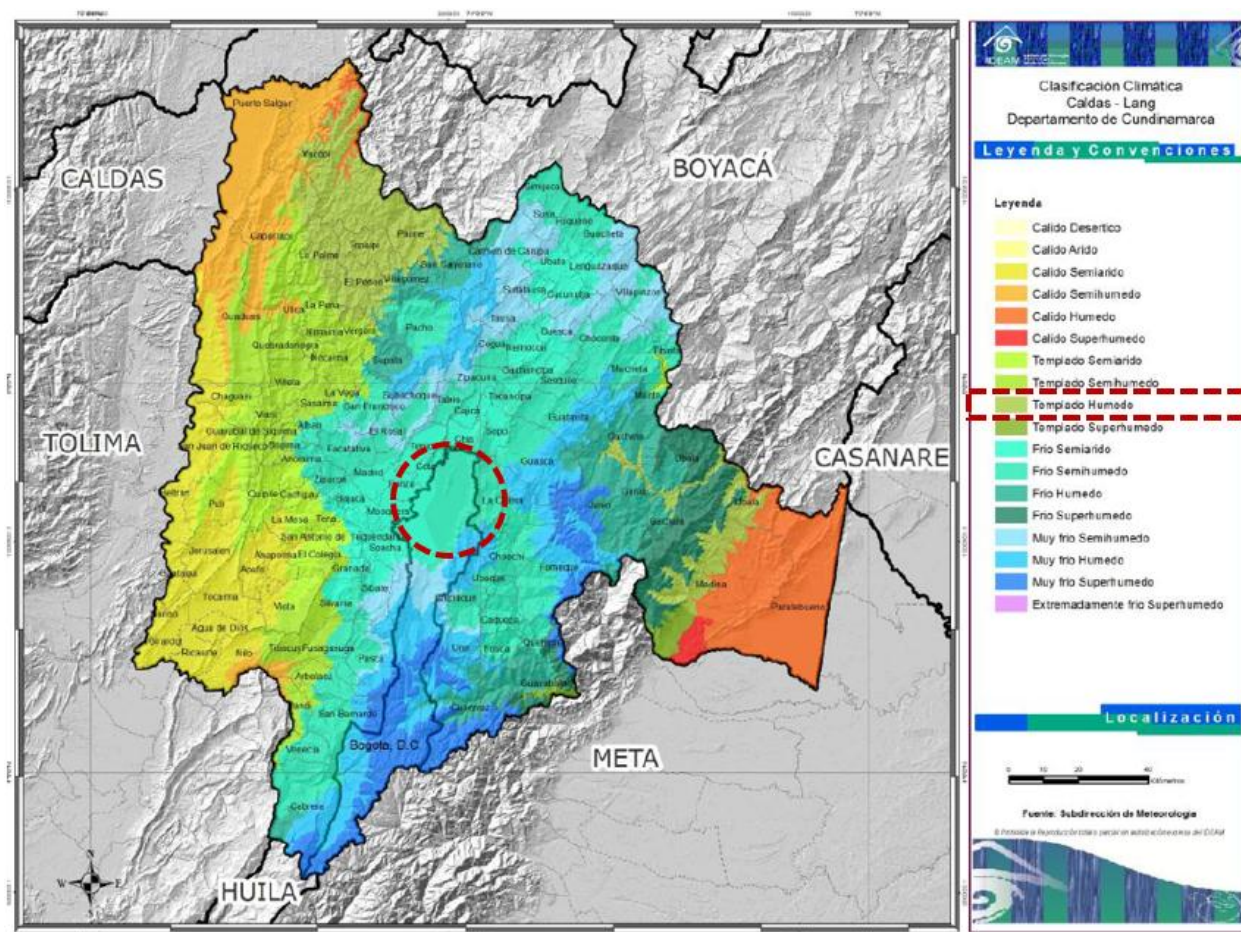


Figura 32. Mapa de clasificación climática.

Fuente Atlas Climático de Colombia IDEAM

Se evidencia que la ciudad de Bogotá, lugar de emplazamiento para el CAB pertenece a un clima frío húmedo.

## Temperatura

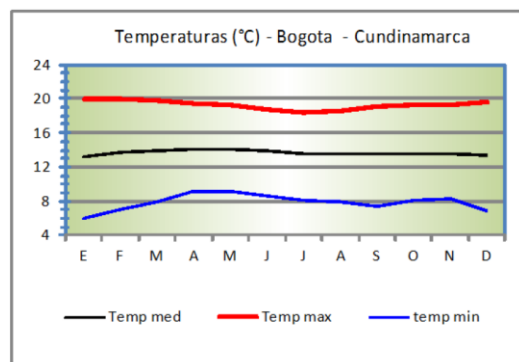


Figura 33. Climograma para temperatura de bulbo seco.

Fuente Atlas Climático de Colombia IDEAM.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. Bulbo Seco °C	13.3	13.7	13.9	14.1	14.1	13.9	13.5	13.6	13.5	13.5	13.6	13.4	13.7

Tabla 22. Temperaturas Humedad promedio mensual.

Fuente Atlas Climático de Colombia IDEAM.

Se comparan tres parámetros: promedio, temperatura más baja y más alta registradas. Se observa variaciones significativas entre los parámetros de temperatura más baja y más alta registrada lo cual constituye que se deba prestar atención especial a esta condición para mantener un ambiente interior de confort pese a los flujos marcados de temperatura. Del análisis se observa que el proyecto va a ser emplazado en un clima frío húmedo, por lo tanto, se deben buscar estrategias que generen la ganancia de calor en los espacios.

### Temperatura de confort

Para establecer el rango de temperatura de confort se utiliza la fórmula de Aluiciems para estimación del rango de confort, luego se comparan los datos con la herramienta CBE Thermal Confort Tool para conocer si cumple con estándar de confort ASHRAE Standard 55, el cual utiliza la metodología PMV para establecer los criterios de confort.



$$T_n = 17.6 + 0.31 * T_{media} \text{ y Rango de confort} = T_n \pm 2.5^{\circ}\text{C}$$

$$T_n = 17.6 + 0.31 * 13.7^{\circ}\text{C}$$

$$T_n = 21.85^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Rango de Confort} = 19.35^{\circ}\text{C} - 24.35^{\circ}\text{C}$$

Donde  $T_n$  = Temperatura Neutra y  $T_{media}$  = temperatura media.

Se observan valores para los parámetros de producción metabólica en Met (2.0); vestimenta en Clo (1.0). Se utiliza el modelo Predicted Mean Vote para estimar el rango de confort de acuerdo a estándar ASHRAE-55.

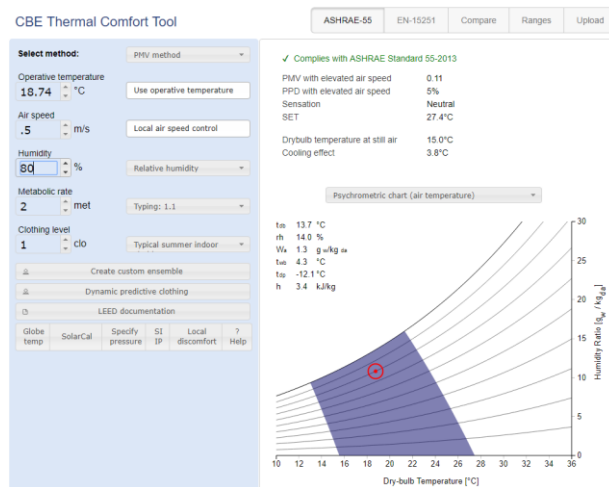


Figura 34. Control de rango de confort (18.74°C) ASHRAE-55.

Fuente propia (2017). CBE Thermal Comfort Tool (Berkeley University)

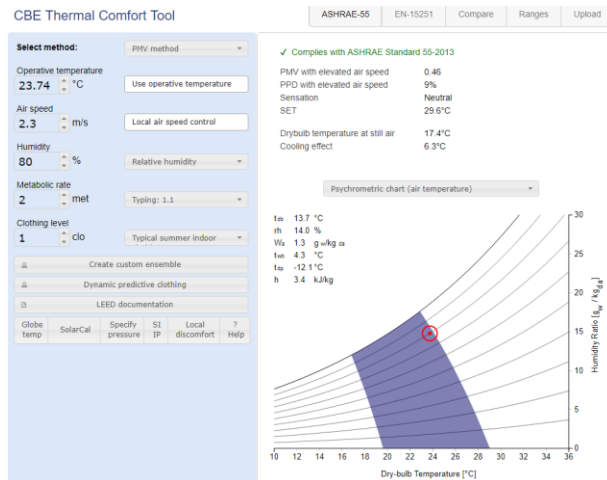


Figura 35. Control de rango de confort (23.74°C) ASHRAE-55.

Fuente propia (2017). CBE Thermal Comfort Tool (Berkeley University)

Teniendo en cuenta la clasificación térmica del lugar, la envolvente geométrica arquitectónica para los espacios debería ser 1:1/1 – 1:1/3.

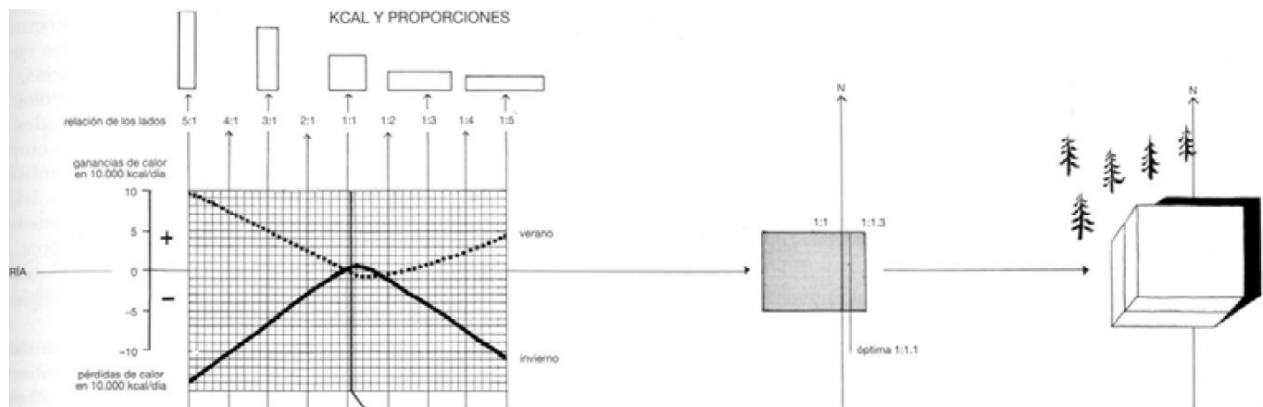


Figura 36. Envolvente geométrica arquitectónica.

Fuente OLGAY, Victor. *Arquitectura y clima*.

## Humedad

Los datos de humedad son tomados del IDEAM, el rango de confort está fijado entre 30-65%. La gráfica muestra el comportamiento típico de un clima húmedo, con un valor promedio de 80%.

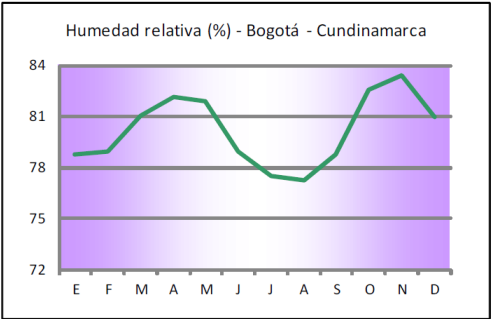


Figura 37. Climograma de humedad relativa.

Fuente Atlas Climático de Colombia IDEAM

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Humedad Relativa %	79	79	81	82	82	79	78	77	79	83	83	81	80

Tabla 23. Promedio mensual humedad relativa.

Fuente Atlas Climático de Colombia IDEAM

Mes / Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	91.77	93.29	92.97	93.10	92.90	92.68	91.58	84.58	76.19	65.03	59.71	57.29	57.45	60.16	62.19	64.10	67.61	73.58	81.06	84.55	87.39	88.26	90.23	91.61
2	93.29	94.36	94.57	95.61	94.79	93.64	91.79	85.39	73.25	64.68	60.75	57.39	56.64	58.79	60.25	63.32	68.64	76.25	81.82	86.07	89.79	90.07	91.61	91.82
3	93.45	94.77	95.13	94.32	96.16	94.32	94.16	89.03	79.71	69.87	64.84	64.97	64.97	68.39	69.77	72.32	76.29	82.19	84.68	88.68	90.81	91.13	92.52	93.26
4	93.07	93.63	94.80	94.20	93.17	93.57	89.93	82.00	73.57	66.97	62.47	60.33	60.60	64.10	69.70	70.90	73.40	78.10	81.30	86.87	88.97	91.17	91.73	92.37
5	93.06	92.97	93.71	92.84	93.81	93.58	91.58	84.68	74.26	69.87	64.68	63.00	62.74	65.16	67.81	68.87	73.00	78.81	84.48	88.55	91.16	90.45	91.94	92.94
6	91.67	91.70	93.13	93.80	92.63	94.27	90.73	80.70	72.33	66.67	64.30	60.60	60.30	63.80	66.03	67.57	69.27	75.83	79.37	83.33	85.37	87.30	90.47	91.03
7	90.35	90.00	92.55	92.84	92.42	93.81	88.84	81.45	73.58	68.90	65.42	63.42	62.65	63.16	63.45	66.55	69.26	72.74	78.10	82.19	84.61	86.10	86.55	89.68
8	89.58	90.23	91.23	92.90	92.87	91.32	88.58	80.16	71.45	64.81	60.06	58.81	57.13	56.19	57.23	60.23	62.81	67.23	73.39	79.87	84.16	85.84	87.42	88.65
9	92.37	92.83	93.43	94.17	94.40	93.33	90.70	79.97	69.40	60.77	56.77	54.23	55.40	57.23	59.43	62.50	66.70	74.73	82.57	83.70	87.10	87.50	89.73	91.10
10	90.84	91.77	92.87	91.58	91.29	90.45	86.87	77.48	68.81	62.77	61.10	57.23	58.35	60.00	61.23	62.84	66.13	71.94	79.00	82.71	85.00	87.81	88.32	91.00
11	95.07	96.10	96.33	96.00	96.20	96.50	94.73	88.10	79.40	73.30	68.00	68.40	70.77	72.10	75.10	77.70	82.50	90.07	90.23	92.47	93.00	93.10	94.30	94.50
12	94.39	95.03	95.68	95.58	96.19	96.42	94.65	87.77	76.52	63.26	58.74	58.23	60.10	62.00	63.26	69.03	72.42	81.10	85.74	90.06	90.19	91.65	93.35	93.65

Tabla 24. Análisis de confort para humedad relativa.

Se puede observar que en promedio, durante las horas de mayor actividad 9:00 – 16:00 la humedad relativa se halla en zona de confort, este patrón puede estar sujeto a condiciones de humedad producida por temporadas de lluvias. Gracias a este comportamiento y teniendo en cuenta que para este mismo horario se reproducen las mayores temperaturas se tiene que la asimilación de calor es mejor tolerada puesto que la humedad es baja.

## Radiación solar

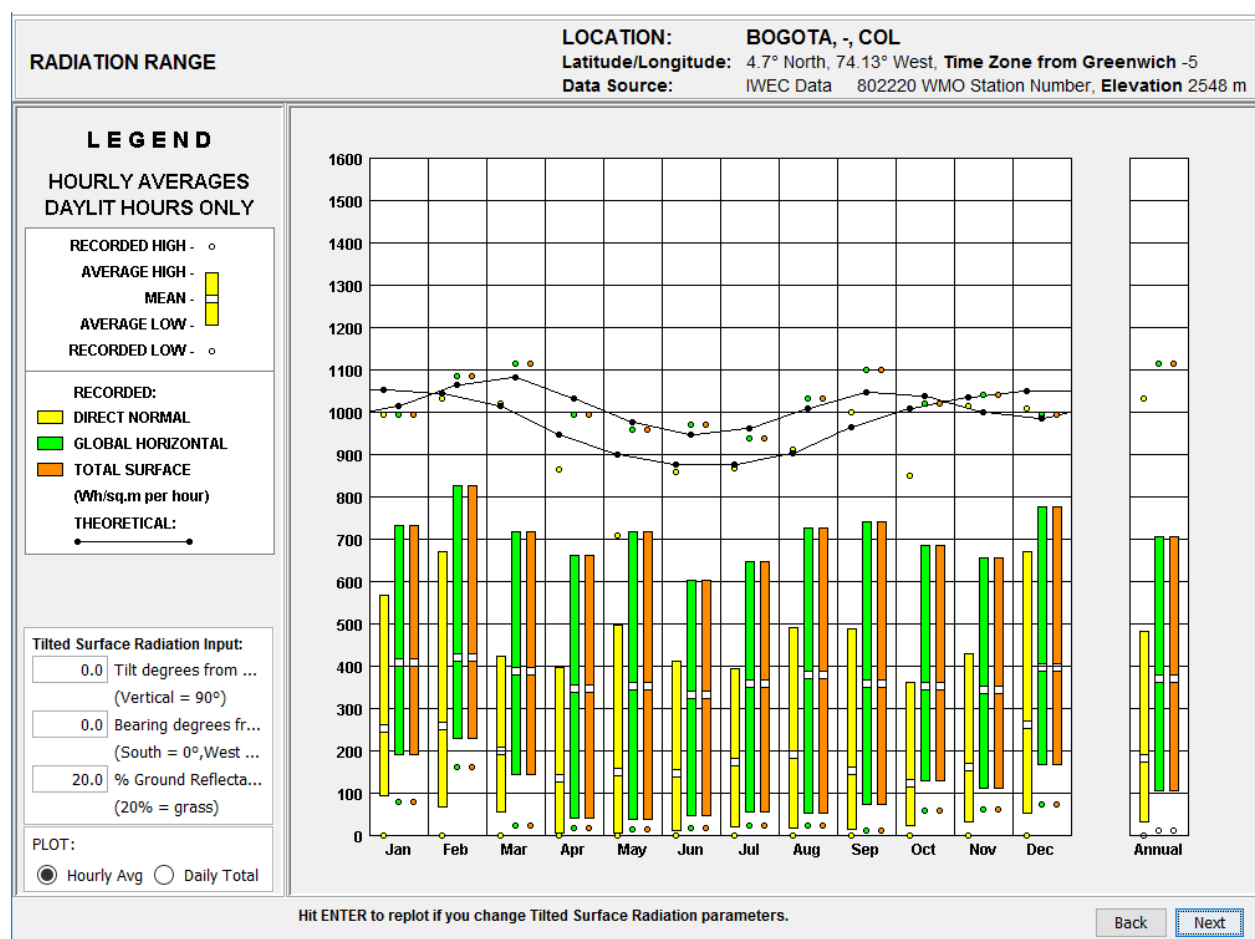


Figura 38. Datos de radiación global.

Fuente archivo climático .epw Bogotá.

Se evidencian valores altos constantes a lo largo del año, característicos de una zona sin estaciones, también se aprecian valores registrados bajos de marzo a sept. Que coinciden con épocas nubosas por precipitaciones pluviales.

## Rango de iluminación

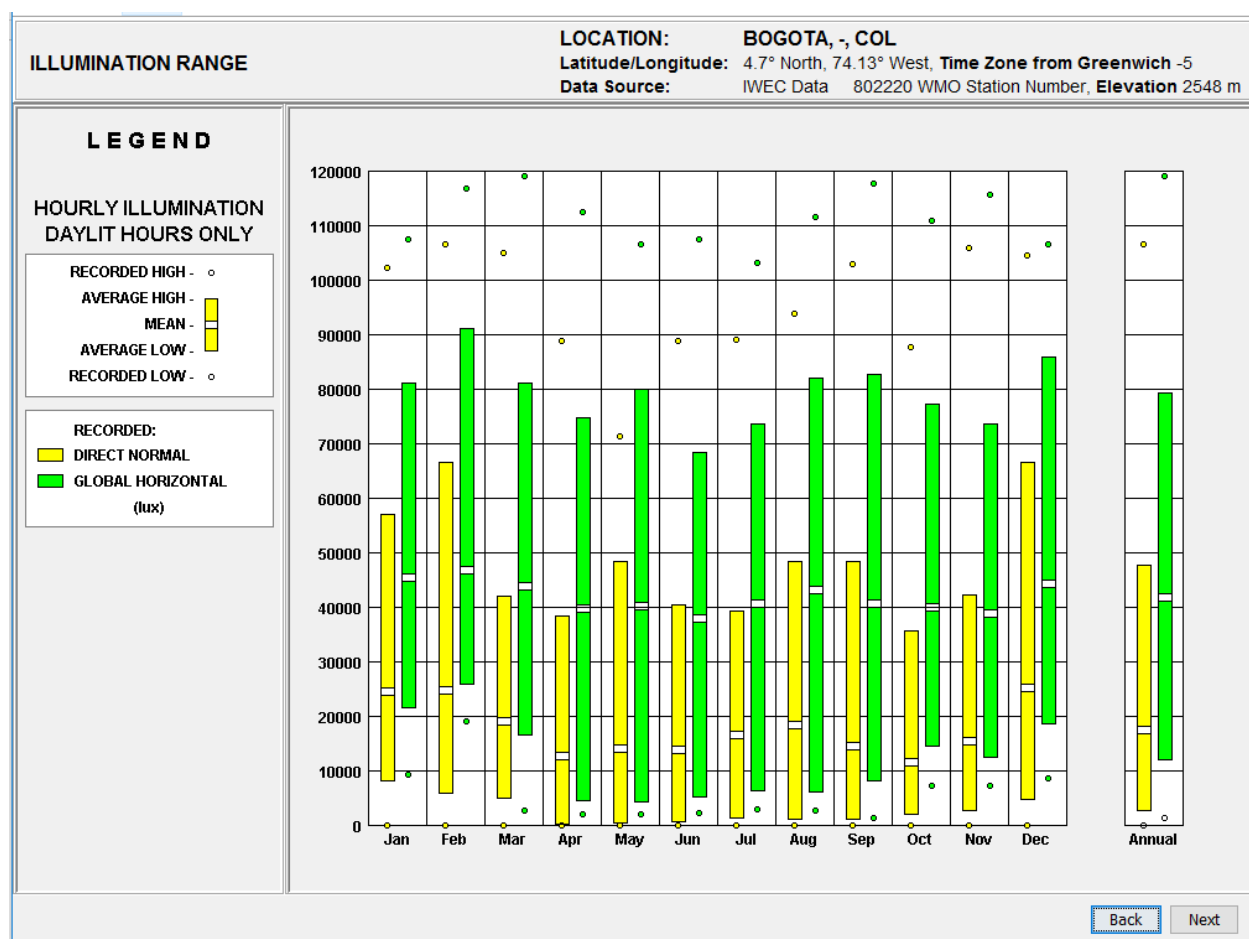


Figura 39. Rango de iluminación en lux.

Se observan condiciones favorables para la iluminación natural de los espacios con promedios de iluminación directa normal cercanos a los 30.000 lux.

## Régimen de vientos

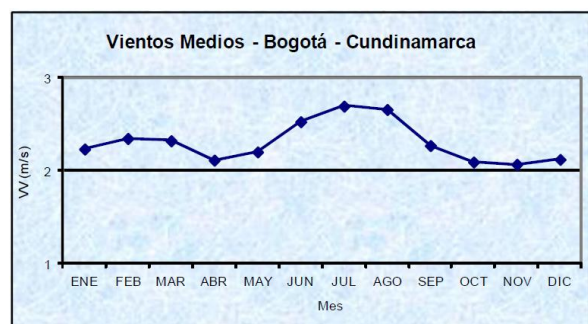


Figura 40. Diagrama de velocidad de vientos.

Fuente Atlas Climático de Colombia IDEAM.

Se observa que los meses con mayores velocidades de viento, coinciden con los meses de lluvia.

Valor de velocidad promedio 2.3 m/s

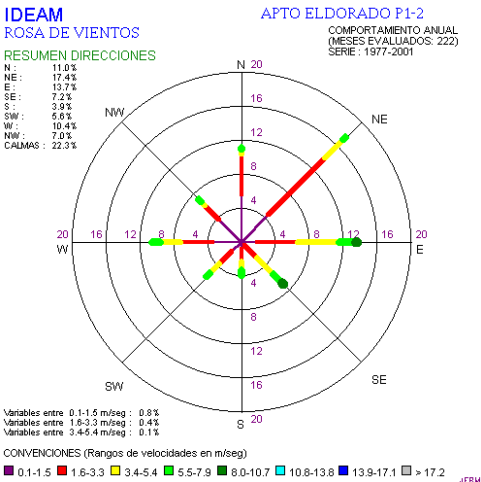


Figura 41. Rosa de vientos.

Fuente Atlas Climático de Colombia IDEAM.

Mes	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
m/s	2.2	2.3	2.3	2.1	2.2	2.5	2.7	2.7	2.3	2.1	2.1	2.1	2.3

Tabla 25. Promedio anual velocidad del viento.

Fuente Atlas Climático de Colombia IDEAM.

El lugar cuenta con condiciones favorables para permitir el enfriamiento por ventilación natural en épocas cálidas, al mismo tiempo, se debe pensar en protección de corrientes de frío, ver análisis de terreno, para evitar pérdida excesiva de calor por convección y evaporación debido a los vientos.

## Precipitación

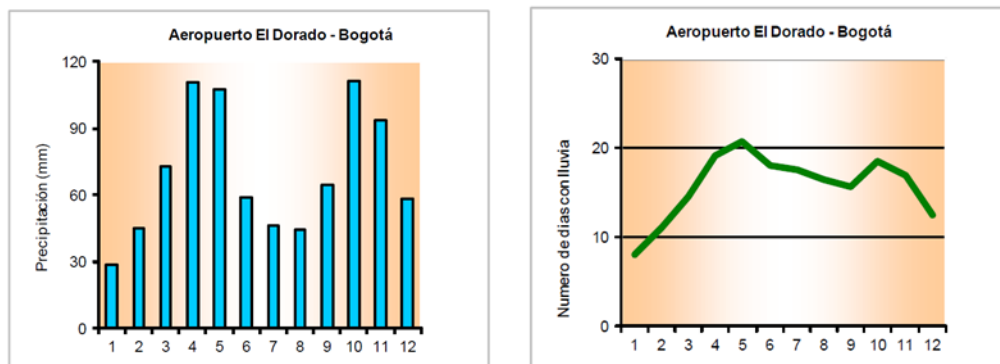


Figura 42. Precipitación pluvia y número de días con lluvia.

Fuente Atlas Climático de Colombia IDEAM.

Se observan datos de precipitación pluvial observándose picos en los meses de abril y octubre, la imagen de la derecha muestra un patrón de lluvias constantes en el año. Los datos para días con lluvia muestran el mismo patrón. Se observa que la ciudad presenta una buena alternativa para la recolección de aguas lluvias.

## Diagrama psicrométrico

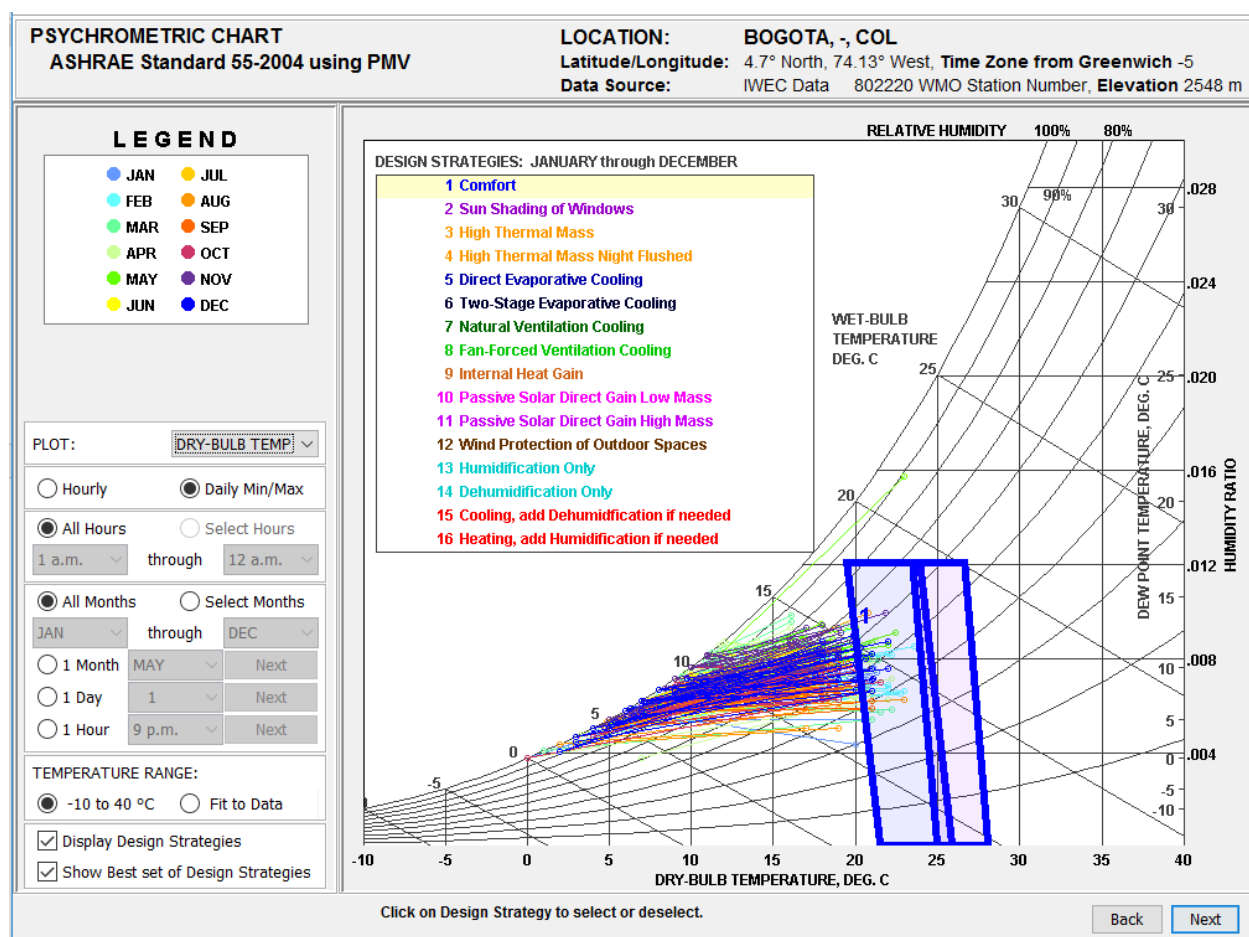
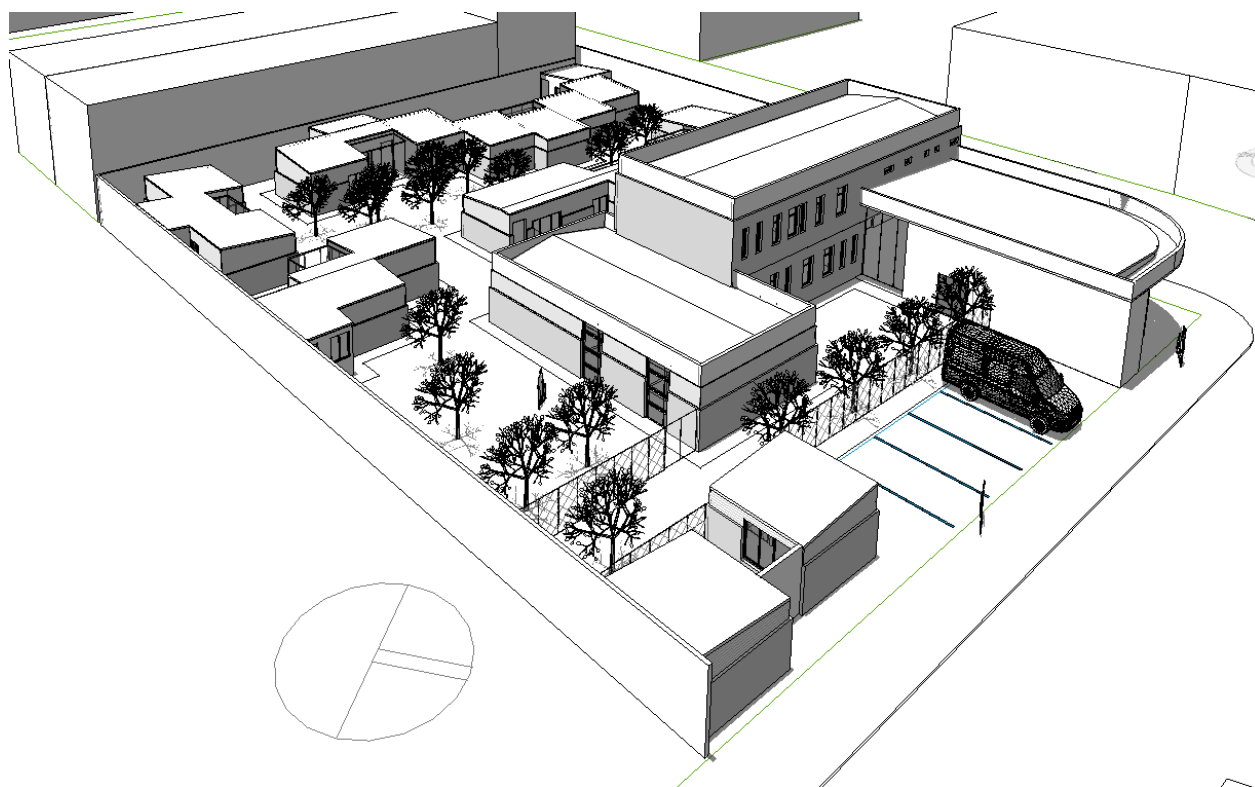


Figura 43. Carta psicrométrica para Bogotá (Climate Consultant).

En este diagrama se observa una concentración de valores de temperatura y humedad por meses (líneas de colores) fuera del rango de confort en su mayoría y hacia la parte superior izq., compatible con un clima frío húmedo, tal como se evidencia en el plano de clasificación climática del Atlas Climático de Colombia. Al evidenciar que el lugar se encuentra fuera del rango de confort se hace necesario el uso de estrategias sostenibles para asegurar el confort al interior del proyecto.



## Anexo B – Planimetría CBA



*Figura 44. Perspectiva general.*

*Fuente propia (2017)*



Figura 45. Planta de accesos.

Fuente propia (2017).

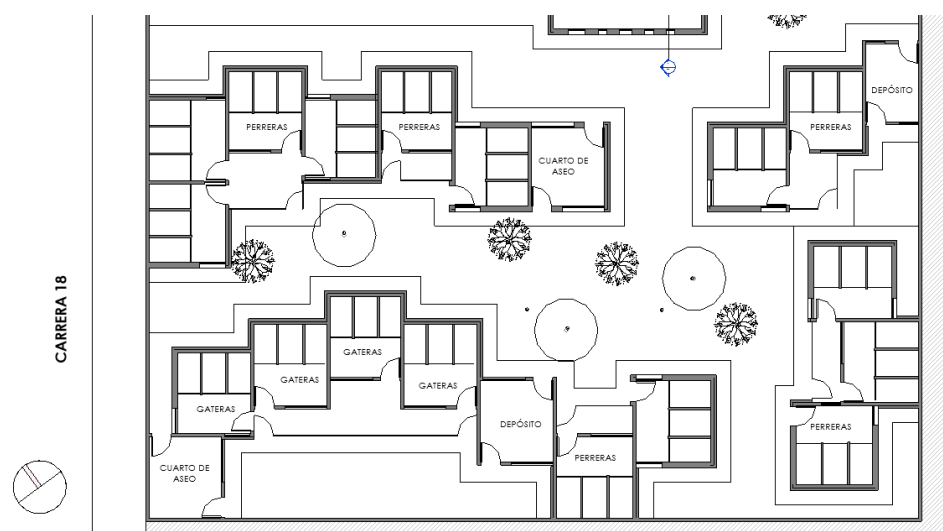


Figura 46. Planta de perreras y gateras.

Fuente propia (2017).

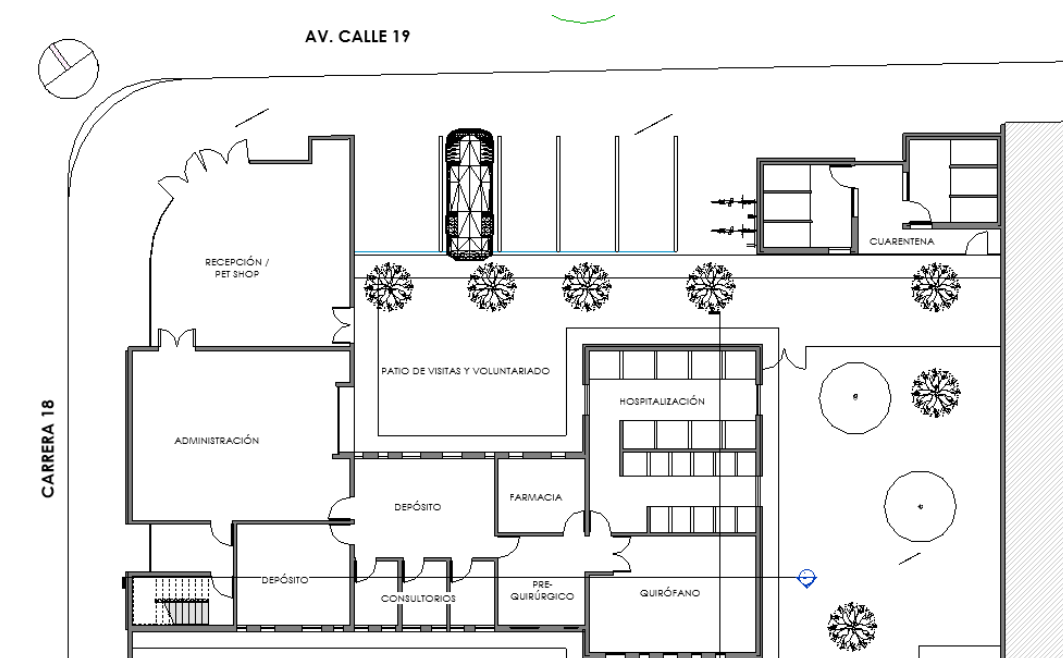


Figura 47. Clínica y administración piso 1.

Fuente propia (2017).

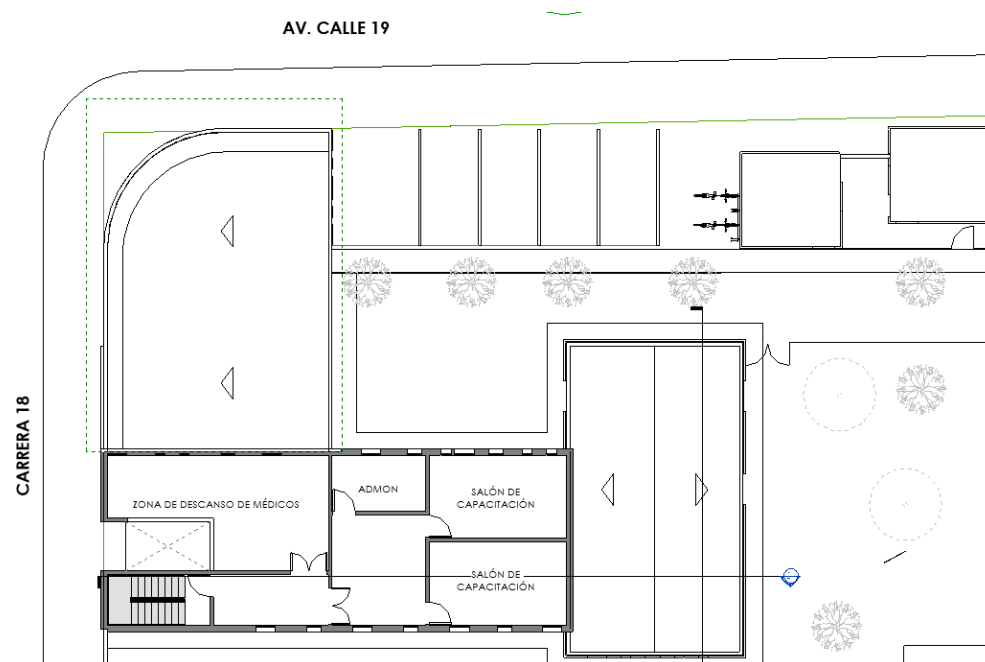


Figura 48. Clínica piso 2.

Fuente propia (2017).

## **Anexo C – Listado de programas más reconocidos**

Las siguientes definiciones son tomadas de <https://www.buildingenergysoftwaretools.com>, página del departamento de defensa de los Estados Unidos.

### **EnergyPlus**

Es un programa para la simulación total del edificio, utilizado por arquitectos, ingenieros e investigadores para estimar ventilación, calefacción y refrigeración, iluminación, cargas y uso del agua en las edificaciones. Es un software gratuito y es utilizado en diferentes plataformas.

### **Radiance**

Es una suite de programas para el análisis y visualización de iluminación natural y artificial en diseño, principalmente desarrollado por Lawrence Berkeley National Laboratory bajo la financiación del Departamento de Energía de los Estados Unidos.

### **Autodesk green building studio (GBS)**

Es el motor para simulación del edificio completo de Autodesk y potencia el análisis de energía para Autodesk Insight 360, Autodesk Revit y Autodesk Formit 360.

### **eQuest**

Es un programa utilizado ampliamente en Estados Unidos, especializado en el análisis y visualización del desempeño energético del edificio. Gratuito. Patrocinado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos.

### **DesignBuilder**

Herramienta de simulación completa del edificio, es la más antigua, más fácil de usar, más poderosa interfaz gráfica de usuario disponible para EnergyPlus, incluye el apéndice G del manual 90.1 del ASHRAE, plantillas, materiales y librerías para plantillas de construcción. Licencia con costo.

**OpenStudio**

Es un software de código abierto para simulación energética de edificios, el lenguaje de programación empleado es Ruby. Gratuito. Tiene conexión con SketchUp.

**Ladybug**

Es un plugin de código abierto para análisis ambiental para las plataformas Grasshopper y Dynamo.

**Honeybee**

Plugin para simulación energética e iluminación natural, conecta Grasshopper o Revit (Dynamo) a EnergyPlus, Radiance, Daysim y OpenStudio. El objetivo de éste plugin es permitir que muchas de las características de los programas mencionados estén en un ambiente paramétrico.

**Autodesk Insight 360**

Permite colaboración centralizada entre arquitectos y equipos de diseño a una base de rendimientos y motores avanzados de simulación.

**Ecodesigner star – ArchiCAD – Graphisoft**

Herramienta para el entorno ArchiCAD para el análisis energético del edificio.

**IES-VE**

El ambiente virtual IES (IESVE) es una potente suite en profundidad de herramientas para el análisis de desempeño de las edificaciones. Permite el diseño y la operación de edificio confortables que consumen significativamente menor energía.

## Anexo D – Matriz de simulaciones

### Matriz para PZOM

Perimeter Zone Optimization Method*						
Objetivo de Modelado:		Modelado para evaluación energética del edificio y esquemas de clasificación (bespoke modelling)				
Requisitos:		Objetivos de diseño establecidos				
		Requisitos del dueño del proyecto (Owner Project Requirements - OPR, por su sigla en inglés)				
Proceso:		Modelado de zona representativa, dimensiones 4.00 x 6.00 m				
* ASHRAE. Appendix D. Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings						
** CIBSE: Building Performance Modelling, Chapter 3						
Ítem	Alternativas de Modelado	Cantidad Mín. Simulaciones	Simulaciones	Periodo de Simulación	Datos para Analizar	Recursos de presentación
1	Orientación	2	Norte - Sur	Anual	Ganancia de calor por superficies traslúcidas	Gráficas comparativas
			Oriente - Occidente	Anual	Temperatura operativa	Hojas de cálculo
					Temperatura exterior (bulbo seco)	Gráficas del modelo
					Radiación solar directa	
					Radiación solar difusa	
					Humedad relativa	
2	Porcentaje de acristalamiento	9	80%	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Temperatura operativa	Gráficas comparativas
			40%	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Temperatura exterior (bulbo seco)	Hojas de cálculo
			20%	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Humedad relativa	Gráficas del modelo
3	Materiales de superficies opacas	9	Material típico	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Temperatura operativa	Gráficas comparativas
			Material optimizado (1)	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Temperatura exterior (bulbo seco)	Hojas de cálculo
			Material optimizado (2)	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Radiación solar directa	Gráficas del modelo
					Radiación solar difusa	Ficha técnica del material
					Humedad relativa	
					Valor U	
4	Materiales para Ventanería	9	Vidrio claro 6 mm	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Ganancia de calor por superficies traslúcidas	Gráficas comparativas
			Vidrio doble cámara de aire	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Temperatura operativa	Hojas de cálculo
			Vidrio claro 6 mm + Contraventana en madera	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Temperatura exterior (bulbo seco)	Gráficas del modelo
					Humedad relativa	Ficha técnica del material
					SHGC y Valor U	
5	Dispositivos de sombreado	6	Salientes horizontales	Anual - Sem. + cálida	Ganancia de calor por superficies traslúcidas	Gráficas comparativas
			Salientes verticales	Anual - Sem. + cálida	Temperatura operativa	Hojas de cálculo
			Salientes combinadas	Anual - Sem. + cálida	Temperatura exterior (bulbo seco)	Gráficas del modelo
					Humedad relativa	
6	Cubierta	21	Plana	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Temperatura operativa	Gráficas comparativas
			Dos aguas	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Temperatura exterior (bulbo seco)	Hojas de cálculo
			Un agua	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Radiación solar directa	Gráficas del modelo
			Elección de tipología		Radiación solar difusa	Ficha técnica del material
			Con lucernarios	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Humedad relativa	
			Material típico	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Valor U	
			Material optimizado (1)	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría		
			Material optimizado (2)	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría		
Subtotal mínimo simulaciones		56				

## Matriz para WBEM

Whole-Building Energy Modeling Method						
	Objetivo de Modelado:	Modelado para evaluación energética del edificio y esquemas de clasificación (bespoke modelling)				
	Requisitos:	Perimeter Zone Optimized Method Simulation completado				
		Fase de diseño esquemático completada				
		Brief con soluciones de diseño				
		Concepto de diseño				
		Identificación de Medidas de Conservación de Energia (Energy Conservation Measures - ECM, por su sigla en inglés)				
		Modelado de 10 ó más zonas térmicas**				
	Proceso:	Creación de edificio propuesto				
		Generación de edificio línea base				
		Comparación de puntos de referencia (benchmarks)				
	* CIBSE: Building Performance Modelling, Chapter 3					
	** AHSRAE: Standard 90.1, Appendix G: Performance Rating Method					
Ítem	Alternativas de Modelado	Cantidad Mín. Simulaciones	Simulaciones	Periodo de Simulación	Datos para Analizar	Recursos de presentación
1	Materiales de superficies opacas	7	Materiales específicos por zona - caso propuesto	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Temperatura operativa	Gráficas comparativas
			Materiales específicos por zona - caso base	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Temperatura exterior (bulbo seco)	Hojas de cálculo
					Radiación solar directa	Gráficas del modelo
					Radiación solar difusa	Ficha técnica del material
					Humedad relativa	
				Valor U		
2	Materiales para Ventanería	10	Materiales específicos por zona - caso propuesto	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Ganancia de calor por superficies traslúcidas	Gráficas comparativas
			Relación ventana pared	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Temperatura operativa	Hojas de cálculo
			Materiales específicos por zona - caso base		Temperatura exterior (bulbo seco)	Gráficas del modelo
					Humedad relativa	Ficha técnica del material
					SHGC y Valor U	
3	Dispositivos de sombreado	7	Dispositivos específicos por zona - caso propuesto	Anual - Sem. + cálida	Ganancia de calor por superficies traslúcidas	Gráficas comparativas
			Dispositivos específicos por zona - caso base	Anual - Sem. + cálida	Temperatura operativa	Hojas de cálculo
					Temperatura exterior (bulbo seco)	Gráficas del modelo
					Humedad relativa	
5	Iluminación Natural	4	Configuración específica por zona - caso propuesto	Anual	UDI's Metrics	Gráficas comparativas
			Configuración específica por zona - caso base	Anual	DA Metrics	Gráficas del modelo
4	Cubierta	7	Materiales específicos por zona - caso propuesto	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Temperatura operativa	Gráficas comparativas
			Materiales específicos por zona - caso base	Anual - Sem. + cálida - Sem. + fría	Temperatura exterior (bulbo seco)	Hojas de cálculo
					Radiación solar directa	Gráficas del modelo
					Radiación solar difusa	Ficha técnica del material
					Humedad relativa	
				Valor U		
	Subtotal mínimo simulaciones	35				
	Total Simulaciones	91				